

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Mateus Potrich Bellé

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE MECANISMO
ACONDICIONADOR DE PALHA PARA DESCOMPACTAÇÃO DO
SOLO EM SEMEADURA DIRETA**

Santa Maria, RS
2016

Mateus Potrich Bellé

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE MECANISMO ACONDICIONADOR DE
PALHA PARA DESCOMPACTAÇÃO DO SOLO EM SEMEADURA DIRETA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Engenharia Agrícola**.

Orientador: Prof. Dr. Airton dos Santos Alonço

Santa Maria, RS
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo autor.

Potrich Bellé, Mateus
Desenvolvimento e avaliação de mecanismo
acondicionador de palha para descompactação do solo em
semeadura direta / Mateus Potrich Bellé.-2016.
143 p.; 30cm

Orientador: Airton dos Santos Alonço
Coorientadores: Catize Brandelero, Marcia Peiter
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2016

1. Engenharia Agrícolas 2. Escarificação do solo 3.
Sistema plantio direto I. dos Santos Alonço, Airton II.
Brandelero, Catize III. Peiter, Marcia IV. Título.

Mateus Potrich Bellé

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE MECANISMO ACONDICIONADOR DE
PALHA PARA DESCOMPACTAÇÃO DO SOLO EM SEMEADURA DIRETA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Engenharia Agrícola**.

Aprovado em 21 de março de 2016:

**Airton dos Santos Alonço, Dr.
(Presidente/Orientador)**

Mauro Fernando Ferreira, Dr. (UFPel)

Paulo Ivonir Gubiani, Dr. (UFSM)

Otávio Dias da Costa Machado, Dr. (IFRS)

Vilnei de Oliveira Dias, Dr. (UNIPAMPA)

Santa Maria, RS
2016

DEDICATÓRIA

*A minha amada mãe, **Juleica**, que nunca mediu esforços e sempre me apoiou na busca pelo conhecimento, ao meu querido pai, **Arcillo**, pelo exemplo de honestidade, caráter e trabalho durante sua vida, sempre um espelho para mim, à minha irmã, **Luziane**, pelas mensagens de apoio e motivação e à mulher da minha vida, **Natália**, por ser meu porto seguro, sem o apoio de vocês não teria ultrapassado mais esse degrau e não teria me tornado um professor realizado que sou, com todo meu amor e carinho, a vocês dedico.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, saúde, por tudo o que ele me proporcionou de bom e por guiar-me pelos caminhos corretos.

Aos meus pais, Arcillo Cancian Bellé e Juleica Terezinha Potrich Bellé, que nunca mediram esforços para que eu pudesse estudar e me capacitar, pelo carinho, motivação e compreensão em todos os momentos da minha vida. À minha irmã Luziane Potrich Bellé, que sempre me apoiou e me deu força para seguir em frente na busca do conhecimento.

À minha noiva e futura esposa Natália Raguzzoni Cancian, pelo apoio, paciência, motivação, pelo amor incondicional e carinho sempre presentes e demonstrados no olhar e nos seus gestos, obrigado por ser a mulher da minha vida, e à minha sogra Chica por ser uma segunda mãe para mim.

Agradeço à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, oportunidade e pelo vasto conhecimento a mim oferecido. Agradecimento especial à secretária do PPGEA Luciana de Oliveira pela paciência e auxílio.

Ao meu orientador, professor Airton dos Santos Alonço, pelo carinho, respeito, compreensão, paciência e conselhos, por ter confiado em mim desde o mestrado, nunca me esquecerei dos seus ensinamentos, companheirismo e amizade. Carregarei sempre o senhor no meu coração.

À banca examinadora composta pelos professores Mauro, Paulo, Otávio e Vilnei pela brilhante colaboração, paciência, dedicação, esforço e por aceitarem participar desta etapa tão importante para mim.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina onde me orgulho profundamente em ser professor, em especial ao Diretor geral do câmpus São Carlos Juarez Pontes e a chefe do Departamento de Ensino, Pesquisa e Extensão Margarida Hahn pelo entendimento em liberar-me durante o último ano do doutorado para que eu pudesse completar este trabalho, pelas palavras de apoio e incentivo. Um forte abraço aos meus colegas do IFSC campus São Carlos pela amizade e por suprirem as minhas ausências.

As pessoas que fazem parte do Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas (LASERG), em especial ao Tiago Rodrigo Francetto pela

amizade, pelo profissional brilhante que é e pelo trabalho dobrado no laboratório quando me fiz ausente. Aos amigos e colegas Dauto Carpes, Cristian Franck e Otávio Dias da Costa Machado, Rafael Becker, Wagner Pires, André Veit, Elias Prochnow, Vitor Scherer, Gabriel Chagas, Pablo Alonço, João Scopel e Junior Pazzinato pelo apoio, amizade e por tornar essa caminhada mais animada, harmônica e cheia de coisas boas.

Agradeço ao Departamento de Defesa Fitossanitária na pessoa do professor Ricardo Balardin, chefe de departamento, pela confiança em disponibilizar a área experimental para a realização de experimentos e da parte de campo desta tese e aos professores Luciano Pes e Hércules que disponibilizaram algumas máquinas do colégio politécnico durante o período do doutorado.

Aos meus amigos de infância de Nova Palma que são fundamentais para a minha vida e aos meus colegas do PEG que foram uma grata surpresa durante esta caminhada. Todos estão no meu coração.

A todas essas e outras pessoas que de alguma forma me ajudaram nessa caminhada que aqui está se encerrando, agradeço profundamente.

O homem torna-se tudo ou nada, conforme a educação que recebe.

(Fernando Braga da Costa)

RESUMO

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE MECANISMO ACONDICIONADOR DE PALHA PARA DESCOMPACTADORES DE SOLO EM SEMEADURA DIRETA

AUTOR: MATEUS POTRICH BELLÉ
ORIENTADOR: AIRTON DOS SANTOS ALONÇO

O Sistema de Plantio Direto é uma técnica de manejo e conservação que preconiza o pouco revolvimento do solo, rotação de cultura e manutenção da cobertura vegetal na superfície, onde esta última é o principal deles. Entretanto, se estes pré-requisitos não forem adotados por completo problemas como a compactação do solo surgem, reduzindo a produtividade das culturas e necessitando de intervenções como a descompactação mecânica através da escarificação ou subsolagem. Porém, essas operações reduzem a cobertura vegetal em superfície aumentando o risco de erosão. Por isso, o aperfeiçoamento destas ferramentas através do desenvolvimento de novas concepções de estruturas que propiciem a melhor adaptação desses implementos ao sistema plantio direto se torna necessário. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi realizar a comparação de seis diferentes concepções, caracterizadas por combinações entre ferramentas de acondicionamento de palha, elementos descompactadores, disco de corte e suas regulagens e rolo destorroador, e desenvolver uma ferramenta para acondicionamento da palha presente na superfície. As concepções foram realizadas mediante a combinação de diferentes elementos descompactadores, ferramentas de acondicionamento da palha e do solo, tais como rolo destorroador e o mecanismo acondicionador de palha, e ainda explorando distintas distâncias do disco para a haste para todas as concepções. Os resultados mostraram elevado potencial da concepção composta pelo mecanismo acondicionador de palha associado ao rolo destorroador e disco de corte, mantendo níveis elevados de palha na superfície e a aproximação do disco em relação à haste, na menor distância, proporcionou aumento da força e potência média na barra de tração.

Palavras-chave: Engenharia Agrícola. Escarificação do solo. Sistema Plantio Direto

ABSTRACT

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF CONDITIONER MECHANISM OF STRAW FOR SOIL LOOSEN IN NO-TILLAGE SYSTEM

AUTHOR: MATEUS POTRICH BELLÉ
ADVISOR: AIRTON DOS SANTOS ALONÇO

The No-Till System is a management technique and conservation which calls for little soil disturbance, crop rotation and maintenance of vegetation cover on the surface, where the latter is the main one. However, if these prerequisites aren't adopted completely problems such as soil compaction arise, reducing crop yields and requiring interventions such as mechanical decompression through scarification or subsoil. However, these operations reduce the vegetation cover on the surface increasing the risk of erosion. Therefore, the improvement of these tools by developing new designs for structures that provide the best adaptation of these implements to no-till system becomes necessary. Thus, the objective of this study was the comparison of six different designs, characterized by combinations of straw packaging tools, looser elements, cutting disk and its settings and clod-breaking roller, and develop a tool for packaging of this straw on the surface. The conceptions were made by combining different looser elements, packaging tools straw and soil, such as clod-breaking roller and conditioner mechanism of straws, and still exploring different disk distances to the rod for all conceptions. The results showed high potential of the design made by the conditioner mechanism straw associated with clod-breaking roller and cutting disk, maintaining high levels of straw on the surface and the disc move closer to the stem, shorter distance, provided increased strength and average drawbar power.

Keywords: Agricultural Engineering, Chiseling, No-Tillage System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração do efeito da mobilização de solo de uma operação com implemento de haste abaixo da profundidade crítica (PC – profundidade crítica; P- profundidade de trabalho; L – largura da ponteira). Fonte: adaptado de Santos (2013).	37
Figura 2 - Principais formatos de hastes e observação do ângulo de ataque.	41
Figura 3 - Processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas sistematizado e descrito por Romano (2003).	46
Figura 4 - Estrutura porta-ferramentas.	52
Figura 5 - Trator utilizado no trabalho com instrumentação eletrônica acoplada.	53
Figura 6 - Estrutura de acoplamento para aferição da força na barra de tração.	55
Figura 7 - Da esquerda para a direita, filtro de linha (A), fluxômetro (B), válvula de retorno (C) e retorno do combustível (D), respectivamente.	56
Figura 8 - Estrutura de acoplamento do sensor indutivo.	56
Figura 9 - Roda odométrica acoplada na estrutura porta-ferramentas.	57
Figura 10 - Haste e ponteira do elemento descompactador reto inclinado.	58
Figura 11 - Elemento descompactador parabólico.	59
Figura 12 - Disco de corte liso.	59
Figura 13 - Rolo destorroador.	61
Figura 14 - Processo de desenvolvimento do mecanismo acondicionador de palha adaptado da metodologia proposto por Romano (2003).	62
Figura 15 - Fluxograma da fase de Planejamento do Projeto.	62
Figura 16 – Posições do disco de corte e relação ao elemento descompactadores.	68
Figura 17 - Croqui do experimento.	69
Figura 18 - Perfilômetro de hastes.	72
Figura 19 – Exemplo de avaliação da área elevada e mobilizada do solo.	73
Figura 20 – Coleta de imagem para a determinação do índice de permanência de palha sobre o solo.	76
Figura 21 - Exemplo de edição de uma imagem.	76
Figura 22 - Estrutura Analítica do Projeto e Desenvolvimento do MAP.	80
Figura 23 - Diagrama de Mudge e o confronto comparativo entre os requisitos dos clientes.	86

Figura 24 - Hierarquização dos requisitos de projeto por meio do QFD (<i>Quality Function Deployment</i>).	87
Figura 25 - Adaptação do modelo tridimensional de ruptura do solo adotado no trabalho. Adaptado de Godwin e Spoor (1977).	88
Figura 26 - Leiaute do MAP.....	92
Figura 27 - Protótipo do MAP e suas regulagens.....	93
Figura 28 – Superfície do solo resultante de duas condições de escarificação do solo, sem disco de corte e sem rolo destorroador para o EDRI e EDP, respectivamente. 98	
Figura 29 - Índice de permanência de palha (%) sobre o solo para a interação entre os fatores elemento descompactador e acondicionamento de palha.....	98
Figura 30 - Ilustração dos valores encontrados de área de solo mobilizado para a interação entre os fatores distância do disco para o elemento descompactador e acondicionamento de palha.....	106
Figura 31 - Ilustração do perfil de solo mobilizado (marrom) de um tratamento com rolo destorroador e mecanismo acondicionador de palha, e com rolo destorroador apenas.	107
Figura 32 - Consumo horário de combustível para a interação entre os fatores elemento descompactador e distância do disco para o ED.....	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis umidade gravimétrica, limites de Atterberg e densidade do solo.	49
Tabela 2 - Massa seca, coeficiente de variação e desvio padrão da quantidade de palha presente no experimento.	52
Tabela 3 – Componentes eletrônicos que compõem a instrumentação, equipamentos auxiliares e as variáveis coletadas através deles.	54
Tabela 4 - Descrição das atividades do projeto informacional do MAP.	63
Tabela 5 - Descrição da composição dos tratamentos resultantes da combinação de fatores e seus níveis.	67
Tabela 6 - Combinações das ferramentas para formação das diferentes concepções.	68
Tabela 7 - Ciclo de vida do MAP.	82
Tabela 8 - Fatores de influência do MAP.	82
Tabela 9 - Necessidades dos clientes, requisitos de clientes, requisitos de projetos, suas métricas e unidades respectivas de medidas.	84
Tabela 10 - Especificações de projeto do mecanismo acondicionador de palha.	90
Tabela 11 - Tabela do teste F e as significância entre os fatores de estudo e suas interações para as variáveis energéticas.	94
Tabela 12 - Tabela do teste F e as significância entre os fatores de estudo e suas interações para as variáveis de interação das ferramentas com o solo, palha e demais complementares.	95
Tabela 13 - Interação tripla entre os fatores de estudo para o índice de permanência de palha sobre o solo (%).	96
Tabela 14 - Índice de permanência de palha no solo (%) para a interação entre os fatores elemento descompactador e distância do disco para o elemento descompactador.	97
Tabela 15 - Índice de permanência de palha no solo (%) para a interação entre os fatores acondicionamento de palha e distância do disco para o elemento descompactador.	99
Tabela 16 - Força média na barra de tração (kN) para a interação entre os fatores elemento descompactador e acondicionamento de palha.	101

Tabela 17 – Força média na barra de tração (kN) para a interação entre os fatores acondicionamento de palha e distância do disco para o elemento descompactador.	102
Tabela 18 - Potência média na barra de tração (kW) para a interação entre os fatores ED e AP.....	103
Tabela 19 - Potência média na barra de tração (kW) para a interação entre os fatores acondicionamento de palha e o fator distância do disco para o elemento descompactador.....	104
Tabela 20 - Área de solo mobilizado (cm ²) da interação entre os fatores elemento descompactador e acondicionamento de palha.	105
Tabela 21 - Elevação do solo (cm ²) para a interação entre os fatores acondicionamento de palha e distância do disco de corte para o elemento descompactador.	108
Tabela 22 - Empolamento do solo (%) para a interação tripla entre os fatores elemento descompactador, acondicionamento de palha e distância do disco para o elemento descompactador.....	109
Tabela 23 - Consumo horário de combustível (l h ⁻¹) para a interação entre os fatores acondicionamento de palha e distância do disco para o elemento descompactador.	111
Tabela 24 - Interação entre os fatores elemento descompactador e acondicionamento de palha para a variável consumo horário de combustível (l h ⁻¹).	113
Tabela 25 – Interação tripla entre os fatores elemento descompactador, acondicionamento de palha e distância do disco para o elemento descompactador para a variável consumo específico de combustível (l kw h ⁻¹).....	113
Tabela 26 - Consumo específico de combustível (l kW h ⁻¹) para a interação entre os fatores acondicionamento de palha e distância do disco para o elemento descompactador.....	114
Tabela 27 - Interação entre os fatores acondicionamento de palha e elemento descompactador na variável consumo específico de combustível (l kW h ⁻¹).....	115
Tabela 28 - Consumo específico operacional (l kW h m ⁻²) da interação entre os fatores elemento descompactador e acondicionamento de palha.	116
Tabela 29 - Consumo específico operacional (l kW h m ⁻²) na interação entre os fatores Distância do disco para o elemento descompactador e elemento descompactador.	117

Tabela 30 - Interação entre os fatores elemento descompactador e acondicionamento de palha para a variável resistência específica operacional (kN m^{-2}).....	117
Tabela 31 - Resistência específica operacional (kN m^{-2}) para a interação entre os fatores elemento descompactador e distância do disco para o elemento descompactador.....	118
Tabela 32 – Resistência específica operacional (kN m^{-2}) para a interação entre os fatores acondicionamento de palha e distância do disco para o elemento descompactador.....	119
Tabela 33 - Índice de força para a interação entre os fatores elemento descompactador e acondicionamento de palha.....	120
Tabela 34 - Interação entre os fatores elemento descompactador e distância do disco para o elemento descompactador para a variável Índice de força.	121
Tabela 35 - Observações diretas sobre as concepções propostas e suas combinações de princípios de solução.....	121

LISTA DE ABREVIATURAS

Ae – Área de elevação do solo ou área de solo elevado;
Am – Área de solo mobilizado ou área mobilizada de solo;
AP – Fator acondicionamento de palha;
ASAE – Sociedade americana de engenharia agrícola;
Ce – Consumo específico de combustível;
CeO – Consumo específico operacional;
CEQ – Controle estatístico de qualidade;
Ch – Consumo horário de combustível;
CR/CMAP – Com rolo destorroador/com mecanismo acondicionador de palha;
CR/SMAP – Com rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha;
D – Fator distância do disco para o elemento descompactador;
D1 – Distância de 1,00 m do disco de corte para o ED;
D2 - Distância de 0,50 m do disco de corte para o ED;
D3 - Distância de 0,01 m do disco de corte para o ED.
DBA – Delineamento blocos casualizados;
EAP – Estrutura analítica do processo;
EAP – Estrutura analítica do projeto;
ED – Elemento descompactador;
kPa – Quilopascal;
LASERG – Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas;
LMCC - Laboratório de Materiais de Construção Civil;
LCL – Limite inferior de controle estatístico;
MAP – Mecanismo acondicionador de palha;
Mg ha⁻¹ – Megagrama por hectare (igual a unidade tonelada);
MPa – Megapascal;
MS ha⁻¹ – Massa seca por hectare;
P – Patinagem ou patinamento;
Per – Perímetro de uma roda;
pH – Potencial hidrogeniônico;
PMBT – Potência média na barra de tração;
Pul – Pulso;

ReO – Resistência específica operacional;

Rrol – Resistência ao rolamento;

SD – Sem disco de corte à frente do elemento descompactador;

SIBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos;

SPD – Sistema Plantio Direto;

SR/SMAP – Sem rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha;

TDP – Tomada de potência;

UCL – Limite superior de controle estatístico;

UFMS – Universidade Federal de Santa Maria;

V – Velocidade de deslocamento;

V_{rm} - velocidade média da roda motriz (km h⁻¹);

V_{ro} - velocidade média obtida pela roda odométrica (km h⁻¹);

X – Média do controle estatístico;

ANEXOS

ANEXO 1 – Análise estatística completa (ANOVA) do experimento com a comparação entre as médias das variáveis e os resultados do Teste F de comparação de variâncias.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	20
2.	OBJETIVO GERAL	22
3.	HIPÓTESES	22
4.	REVISÃO DA LITERATURA	23
4.1	SISTEMA PLANTIO DIRETO	23
4.2	COBERTURA VEGETAL.....	25
4.3	MANEJO DA COBERTURA VEGETAL.....	28
4.4	COMPACTAÇÃO DO SOLO	32
4.5	DESCOMPACTAÇÃO DO SOLO	35
4.6	AVALIAÇÃO DE MÁQUINAS DESCOMPACTADORAS DE SOLO	38
4.7	PROJETO DE PRODUTO.....	43
4.8	DESENVOLVIMENTO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS	45
5.	MATERIAL E MÉTODOS.....	49
5.1	MATERIAL.....	49
5.2	MÉTODOS	61
5.2.1	Metodologia de projeto do mecanismo acondicionador de palha	61
5.2.2	Experimento de avaliação das concepções	66
5.2.3	Velocidade real de deslocamento e patinamento	69
5.2.4	Força e potência média na barra de tração.....	71
5.2.5	Área elevada, mobilizada e empolamento do solo	71
5.2.6	Consumo horário de combustível.....	74
5.2.7	Consumo específico de combustível.....	74
5.2.8	Consumo específico operacional.....	74
5.2.9	Resistência específica operacional (kN m ⁻²)	75
5.2.10	Índice de permanência de palha no solo	75
5.2.11	Índice de força	77
5.2.12	Avaliação complementar de desempenho	78
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
6.1.	PROJETO E DESENVOLVIMENTO DO MECANISMO ACONDICIONADOR DE PALHA.....	79

6.1.1	Planejamento do projeto.....	79
6.1.2	Projeto informacional.....	81
6.1.3	Projeto conceitual.....	91
6.2.	AVALIAÇÃO DAS CONCEPÇÕES.....	94
6.2.1	Índice de permanência de palha sobre o solo.....	95
6.2.2	Força média na barra de tração.....	100
6.2.3	Potência média na barra de tração.....	103
6.2.4	Área de solo mobilizado.....	104
6.2.5	Área de solo elevada.....	107
6.2.6	Empolamento do solo.....	109
6.2.7	Patinamento.....	110
6.2.8	Consumo horário de combustível.....	111
6.2.9	Consumo específico de combustível.....	113
6.2.10	Consumo específico operacional.....	116
6.2.11	Resistência específica operacional.....	117
6.2.12	Índice de força.....	120
6.2.13	Avaliação complementar de desempenho.....	121
7.	CONCLUSÕES.....	123
8.	RECOMENDAÇÕES.....	124
9.	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	125
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	126

1. INTRODUÇÃO

O Sistema de Plantio Direto (SPD) é um sistema de manejo conservacionista do solo e se caracteriza por preconizar a manutenção dos resíduos culturais sobre a sua superfície, revolvimento apenas na linha de semeadura e uso de rotação de culturas. Iniciou sua expansão nos estados sul-brasileiros e disseminou-se pelo Brasil, visando a redução da erosão (elevada no sistema de plantio convencional), aumento da matéria orgânica, manutenção da umidade superficial, redução no número de operações mecanizadas e consumo de combustível. Para a viabilização da maioria destes efeitos é fundamental a manutenção da cobertura vegetal na superfície do solo, em quantidade, qualidade e diversidade. Esta deve protegê-lo contra o impacto direto das gotas de chuva, evitando a erosão e o encrostamento superficial.

A presença de cobertura vegetal na superfície apresenta ainda inúmeras vantagens, como a redução nas oscilações da temperatura e umidade superficial propiciando que a primeira permaneça baixa, promovendo uma maior retenção de água em períodos quentes e de estiagem. Entretanto, a utilização de palha na superfície do solo não é, por si só, garantia de sucesso do SPD. Por essa única preocupação, manter a palha, não obedecendo esses outros requisitos, houve uma má condução desse sistema, e isso promoveu o surgimento de problemas cujo principal é a compactação do solo, que restringe o aprofundamento das raízes das plantas em profundidade e influencia negativamente o desempenho de máquinas e implementos agrícolas.

Devido ao agravamento no adensamento do solo em áreas de plantio direto, pesquisas têm sido conduzidas no sentido de encontrar formas de mitigar eficientemente este problema sem revolvimento do solo mantendo o máximo possível da palhada. Uma prática aplicada é a descompactação mecânica do solo através de sistemas de preparo conservacionista com a utilização de escarificadores e subsoladores. A operação de preparo do solo no SPD, comparativamente aos sistemas convencionais, propicia uma redução no tempo de trabalho, menor demanda de energia e consumo de combustível e, conseqüentemente, em menor custo operacional.

Entretanto, mesmo o preparo conservacionista do solo provoca a desagregação, aumentando o risco de erosão e, por isso, a manutenção da cobertura vegetal intacta na superfície após a descompactação mecânica torna-se fundamental.

Nas condições de elevadas quantidades de palha no SPD, foram introduzidos nos implementos utilizados nos implementos ferramentas para o manejo da palha, discos de corte de palha e rolo destorroador, de forma a mantê-la na superfície. Entretanto, estas concepções são insuficientes em manter a cobertura vegetal imóvel na superfície, pois elas não apresentam ação efetiva na redução da movimentação e incorporação da palha. Esses acabam acelerando a decomposição da palha, expondo do solo e, também, reduzindo os efeitos benéficos da descompactação, havendo a necessidade de novas concepções para suprir esta lacuna.

O desenvolvimento e testes de ferramentas com novos princípios de soluções ou a combinação destes para obtenção de novas concepções para a operação em áreas de plantio direto compactado é necessário, uma vez que as práticas de descompactação estão cada vez mais frequentes e o desempenho das concepções atuais não são suficientes para atender aos objetivos conservacionistas.

Uma análise do mercado de escarificadores e subsoladores, e o levantamento de informações do campo, demonstra concepções desde sem ferramentas de acondicionamento de solo e palha, tais como discos de corte e rolo destorroador, outras com apenas com disco, apenas com rolo, ou mesmo com a combinação entres estas, caso onde há tentativas de manutenção da palhada, entretanto sem a presença de testes científicos comparativos para embasamento. Além disso, as concepções que utilizam discos de corte apresentam variações de distância às hastes bastante distintas, tanto por desconhecimento dos fabricantes das condições ideais, quando pela ausência de informações de pesquisa. Isso determina a necessidade de análise mais aprofundadas desta regulagem quando se associa estas duas ferramentas do preparo conservacionista.

Fica claro, portanto, falhas das concepções atuais, ausência de princípios de solução inovadores, dificuldade na realização de testes com ferramentas em uma mesma base comparativa, que limitam a evolução do preparo. Estes fatos conjugados, motivaram a condução deste trabalho, que realizou a comparação de concepções para implementos de preparo conservacionista, utilizando ferramentas usuais e incluindo o projeto e desenvolvimento de uma ferramenta com novo princípio de solução para acondicionamento de palha e o estudo dos efeitos da distância do disco para duas hastes com os principais formatos.

2. OBJETIVO GERAL

Realizar a comparação de seis diferentes concepções, caracterizadas por combinações entre ferramentas de acondicionamento de palha, elementos descompactadores, disco de corte e suas regulagens e rolo destorroador.

Objetivos específicos

- Realizar o projeto e desenvolvimento de uma ferramenta como princípio de solução para acondicionamento de palha;
- Estudar concepções compatíveis com princípios de solução já existentes;
- Avaliar as concepções propostas de acordo com o projeto relativas as variáveis de desempenho energético e efeitos sobre o solo e a palha;
- Julgar as concepções de acordo com as métricas de projeto de ferramentas de preparo do solo;
- Realizar a análise qualitativa funcional das concepções mediante o registro de observações diretas intensivas;

3. HIPÓTESES

1. Se a ponteira da haste de um implemento descompactador ao penetrar no solo promove a propagação de forças na sua frente, lateralmente e verticalmente (tridimensional) e isso forma uma elevação do solo à frente e ao lado da haste provocando aumento da rugosidade, incorporação e deslocamento da palha presente na superfície, então uma concepção com a presença do disco de corte de palha, o posicionamento do mecanismo acondicionador à frente e lateralmente à haste e o rolo destorroador reduzirá as alterações dos resíduos culturais e a elevação do solo.
2. Se as concepções que apresentem disco possuem variação de sua distância do disco de corte em relação à haste, e esta tem influência sobre o atrito gerado pelo solo a esta ferramenta, então a aproximação de ambas minimizará a força média na barra de tração e proporcionando uma redução no consumo específico de combustível e resistência específica operacional.

4. REVISÃO DA LITERATURA

4.1 SISTEMA PLANTIO DIRETO

O sistema de plantio direto (SPD), segundo Derpsch (1984), é um sistema no qual a semente é colocada diretamente no solo não revolvido totalmente, usando-se para tal, semeadoras especialmente construídas para operar sobre os resíduos das culturas antecessoras. Para Denardin et al. (2008), este sistema inovador foi introduzido no Brasil em meados de 1960, como um simples método alternativo ao preparo convencional do solo, o qual proporcionou enorme degradação dos solos agrícolas. Por isso, o SPD caracteriza-se por reter a palha na superfície do solo sendo uma importante prática mantenedora e recuperadora da capacidade produtiva de solos degradados e manejados no sistema convencional (TORRES et al., 2005; TORRES et al., 2008).

O SPD, no início de sua implantação no Brasil, passou a ser conceituado como um sistema baseado fundamentalmente em três princípios: mobilização de solo apenas na linha de semeadura, manutenção permanente de cobertura vegetal com diversificação de espécies e rotação de culturas. Já nos anos 2000, foi incorporado a ele mais uma importante prática, a semeadura logo após a colheita, que corresponde à redução ou supressão das entressafras (DENARDIN et al. 2008). É essa interação de manejos que foi recomendada para ser adotada pelos produtores e pregadas pelos técnicos, como potencial para imprimir caráter de sustentabilidade aos sistemas agrícolas produtivos.

Com esta perspectiva de inovação e avanço, o SPD espalhou-se pelo mundo, ocupando na safra 2007/08 mais de 105 milhões de hectares, destacando os EUA e o Brasil como sendo os principais utilizadores desta técnica (HUGGINS e REGANOLD, 2008) e, juntamente com a Argentina, representam mais de 67% do total de área com plantio direto no mundo (DERPSCH e FRIEDRICH, 2009). Entretanto, conforme Lal (2007), apenas cerca de 6% da área cultivada no mundo é sem preparo periódico do solo, necessitando ainda avanços significativos na disseminação deste conhecimento.

No Brasil, os dados mais recentes publicados pela Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação (FEBRAPDP, 2012) denotam que até a safra de 2011/12 já estavam sendo cultivados cerca de 31,8 milhões de hectares de área em SPD. Já no

Rio Grande do Sul, conforme Lino (2010) a área cultivada nesse sistema no ano de 2006 era de 4,2 milhões de hectares, mostrando a importância deste sistema e a proporção representativa dele no contexto mundial, nacional e regional.

O SPD foi um marco que revolucionou as práticas agrícolas, pois reduziu o número de operações mecânicas pela inexistência de preparo do solo em área total e, principalmente, minimizou a erosão do solo que era um grave problema. Além disso, ao comparar o custo energético de diferentes sistemas de cultivo, Fernandes et al. (2008) encontraram 1,89 vezes menos custo no SPD em relação ao sistema convencional. Já em relação as propriedades físicas, Costa et al. (2003), que estudaram um Latossolo em dois sistemas, SPD e preparo convencional, observaram que o solo sob plantio direto apresenta menor temperatura e maior umidade volumétrica na camada superficial do que o solo sob preparo convencional.

A perda de água pelo solo e a retenção desta são influenciadas pelo sistema de manejo do solo. Salton e Mielniczuk (1995), estudaram a retenção de água em dois sistemas de cultivo, convencional e plantio direto, após uma chuva de aproximadamente 70mm, e observaram que o processo de perda de umidade ocorreu com maior intensidade no sistema convencional e que, após 5 dias, o teor de água do solo atingiu a faixa do ponto de murcha permanente nesta condição. Já no SPD, após o mesmo período, o volume de água em todo o perfil estava adequado, mostrando que no SPD as plantas sofreram menos com déficit hídrico principalmente em períodos de pequenas estiagens. Segundo Heckler e Salton (2002), a manutenção de maiores teores de água pode ser determinante para a produtividade das culturas.

A eficácia e a viabilidade do SPD estão relacionadas, dentre vários fatores, com a quantidade e a qualidade da palhada produzida pelas culturas de cobertura antecessoras (ROSOLEN, et al., 2005), sendo fundamental a manutenção de resíduos culturais com decomposição lenta, para manter o solo protegido por um período de tempo maior (CERETTA et al., 2002). Pires et al. (2008), afirmam que a presença de cobertura vegetal no momento do estabelecimento de uma cultura protege o solo contra variações na temperatura e reduz a evapotranspiração, aumentando a resistência das plantas a períodos de déficit hídrico. Além disso, inúmeros estudos demonstram os efeitos positivos da presença de culturas de cobertura nas propriedades químicas e físicas do solo e no rendimento das culturas posteriores, em função da produção de fitomassa, acúmulo e liberação posterior dos nutrientes decorrentes da decomposição da palhada, melhoria na infiltração de água e redução

do escoamento superficial (TORRES, et al., 2008; GAMA-RODRIGUES et al., 2007; CARVALHO, 2009).

4.2 COBERTURA VEGETAL

A cobertura vegetal no SPD, quando manejada, é conhecida comumente como palha, cobertura morta, resíduo cultural, entre outras denominações. Essa, quando presente na superfície contribui decisivamente para a manutenção da temperatura e na redução da evaporação de água no solo (ANDRADE, 2010). Além disso, estudos referentes à decomposição e liberação de nutrientes conduzidos por Espínola et al. (2006), destacam que espécies leguminosas favorecem a liberação mais acelerada de Nitrogênio e as gramíneas promovem a imobilização desse nutriente.

Boer et al. (2007), diagnosticaram que, em contrapartida, independente das espécies, as plantas de cobertura acumulam nutrientes na biomassa, destacando o Potássio como principal nutriente retido e com liberação mais acelerada, enaltecendo que a utilização de plantas de cobertura é fundamental para a ciclagem de nutrientes dentro do SPD, conteúdo compartilhado por Heinz et al. (2011), que observaram também a liberação de nutrientes por plantas de coberturas.

A infiltração de água é outro quesito importante e dependente do sistema de cultivo. Derpsch e Calegari (1992), em seus trabalhos de pesquisa encontraram que a presença de cobertura vegetal sobre o solo impulsiona a infiltração de água. Além disso, estes autores ao observarem a ação de uma chuva de 60mm sobre duas superfícies, com e sem cobertura vegetal, constataram uma menor infiltração na condição sem resíduos vegetais, onde houve de 75 a 80% de escoamento superficial. Isso reforça a importância da manutenção da cobertura sobre o solo com palha, pois esta evita a exposição do solo a agentes climáticos e formação de processos erosivos (HECKLER e SALTON, 2002).

A presença de cobertura vegetal na superfície do solo favorece o desenvolvimento dos microrganismos presentes nele, favorecendo a formação de matéria orgânica e isso, conforme Vasconcelos et al. (2010), é fator importante para a formação de agregados do solo com maior estabilidade. Da mesma forma, além de proteger o solo, a presença de quantidades elevadas de cobertura permite a manutenção de maiores teores de água no solo (PERES et al. 2010), favorecendo o

crescimento das raízes das plantas e não restringindo o fornecimento de água em períodos de restrição de chuva estreitos.

O efeito da cobertura vegetal, conforme trabalho realizado por Bragagnolo e Mielniczuk (1990), se expressa principalmente nas camadas superficiais do solo, na profundidade de 0-0,05m, principalmente pela redução da evaporação. Andrade et al. (2007), avaliaram a redução da umidade do solo resultante da evaporação em duas quantidades de aveia como cobertura e concluíram que a presença de palha reduz a perda de água em relação ao solo descoberto.

Pereira et al. (2015), estudaram diferentes quantidades de cobertura vegetal e o impacto na retenção de água no cultivo de feijoeiro irrigado e constataram que quando havia sobre o solo 12t ha⁻¹ de palha, a retenção de água foi maior em relação a 6t ha⁻¹. Eles ainda afirmam que a condição com maior cobertura auxilia na redução da temperatura e evaporação da água do solo, favorecendo a permanência da umidade no perfil. Da mesma forma, Chieppe Júnior et al. (2007), destacam que a maior proteção do solo confere menores perdas de água por evaporação, favorecendo o melhor desenvolvimento das plantas.

A qualidade física do solo é outro ponto importante e favorecido pela presença de culturas de cobertura. Neste contexto, Andrade et al. (2009), estudaram a correlação entre as plantas de cobertura e os índices físicos, e observaram que as gramíneas são importantes agregadoras do solo na camada superficial. Da mesma forma, Blainsk et al. (2012), analisaram estes aspectos em um Latossolo e constaram que o aumento na quantidade de resíduos de aveia-preta em cobertura proporcionou maior ocorrência do teor de água dentro do intervalo hídrico ótimo. Desta forma, a manutenção da palha em cobertura é fundamental para a estabilidade do sistema.

A influência da cobertura vegetal é destacada também na redução da erosão do solo. Pinese Júnior et al. (2008), estudaram a correlação entre o percentual de cobertura vegetal e o transporte de sedimentos e observaram relação inversa, onde a presença cobertura vegetal próxima de 80% ou mais reduziu a próximo de zero o transporte de sedimentos pelo processo erosivo em parcelas com chuva simulada. Esta importância dar-se-á pela interceptação que a palha efetua perante as gotas de chuva, minimizando a energia cinética destas e, assim, reduzindo a erodibilidade da chuva. Da mesma forma, para Carvalho (2009), a elevação no percentual de palha sobre o solo proporciona redução na velocidade do escoamento superficial da água e

isso implica em diminuição no percentual de sedimentos transportados dentro do sistema.

A ausência de cobertura vegetal além de propiciar a exposição do solo frente aos processos erosivos, pode influenciar o aparecimento de plantas daninhas que irão competir com as culturas de interesse agrícola. Theisen e Bianchi (2010), ao incorporarem em uma semeadora um mecanismo para redução da exposição do solo, observaram a diminuição da incidência de plantas daninhas com a manutenção da palha na superfície do solo. Além disso, estes autores observaram que na linha onde há mobilização do solo pelos mecanismos da semeadora, ocorrem uma maior incidência de plantas daninhas, principalmente pelo fato de não haver cobertura vegetal nestes locais.

A persistência da palha sobre a superfície do solo é dependente da velocidade de decomposição. Além disso, a palha estando sobre o solo, independentemente do manejo adotado, é responsável pela redução na perda de solo (CAMARA e KLEIN, 2005a). Entretanto, Carvalho et al. (1990) destacam que a perda de água é afetada em maior proporção pelo tipo de manejo da cobertura morta do que pelo percentual de cobertura vegetal sobre o solo. Conforme pesquisa realizada por Araújo e Rodrigues (2000), a forma do manejo da cobertura vegetal é decisiva na taxa de decomposição da palha, destacando que a trituração do material é importante acelerador deste processo.

A presença de cobertura do solo em condições de temperaturas negativas ou mesmo em regiões de clima temperado pode representar a inviabilização dos cultivos. Para Swan et al. (1996), ao analisarem o efeito da cobertura vegetal sobre o cultivo do milho no norte dos Estados Unidos, concluíram que para regiões frias a cobertura, por reduzir a temperatura do solo, pode prejudicar o cultivo do milho, porém o efeito em regiões quentes é benéfico. Estes autores ainda acrescentam que nessas regiões quentes os efeitos benéficos dos resíduos estão na redução da erosão e manutenção da umidade do solo, evitando a formação de crostas superficiais que podem limitar a emergência pela redução do impacto da gota de chuva sobre o solo.

Existem vários fatores preponderantes para a determinação do sistema de manejo do solo e a presença e persistência da palha é um dos principais. Conforme Magleby e Schertz (1988), qualquer sistema de manejo do solo que mantenha no mínimo 30% da superfície do solo coberta por resíduos, após a implantação das culturas, deve ser denominado conservacionista. Neste sentido, a existência de

cobertura superficial protege o solo da dispersão e arraste pela água e vento, minimizando o encrostamento e permitindo maior infiltração de água, além de reduzir a velocidade de escoamento superficial, diminuindo a capacidade de transporte de sedimentos pela água (KLEIN, 1990).

A manutenção da cobertura vegetal na superfície do solo é preconizada pelos sistemas conservacionistas, de forma que esta permaneça o máximo de tempo como protetora do solo e, para isso, esteja distribuída o mais uniforme possível na superfície. Para atender estes pressupostos, Furlani et al. (2003), destacam que as condições adequadas de operação para implementos de preparo do solo e, principalmente, as semeadoras, são atendidas pela redução no tamanho da palha decorrente do manejo da vegetação.

A importância da manutenção da cobertura está plenamente estabelecida nas considerações anteriores, portanto o manejo empregado a ela tem que ser de tal forma a manter os benefícios mesmo com alterações nas práticas de cultivo e os diferentes usos de ferramentas de manejo que proponham interações com o solo não podem interferir negativamente nestes benefícios.

4.3 MANEJO DA COBERTURA VEGETAL

Manejar a cobertura vegetal diz respeito a diferentes atos com objetivo de controlar, movimentar e/ou modificar o estado original de uma ou conjunto de plantas presentes na superfície do solo, estando vivas ou mortas.

Inúmeros estudos destacam a importância da manutenção da cobertura do solo por adubação verde, palha e restos culturais. Estes podem ser manejados diferentemente conforme a importância, a disponibilidade de recursos e o tipo do mecanismo ou ferramenta utilizada. Entretanto, o manejo pode interferir na velocidade de decomposição do material aumentando a área de contato com o solo e favorecendo a decomposição microbiana (GAMERO, et al. 1997). Por isso, a menor movimentação e incorporação da palha na superfície do solo, pode ser chave para reduzir estes impactos negativos. Mesmo assim, algumas práticas são necessárias para oferecer condições de operação para as práticas de cultivo subsequentes.

O manejo da cobertura do solo pode ser realizado principalmente por dois métodos: o método químico, pelo uso de herbicidas para a dessecação, e o método mecânico, utilizando equipamentos projetados para essa finalidade. Pode ainda ser

realizado por picadores de palha acoplados em colhedoras combinadas (FURLANI et al. 2003). Os picadores de palha são destinados a redução do tamanho desta e distribuição uniforme na superfície do solo (GADANHA JÚNIOR et al. 1991).

A existência de palha na superfície do solo, mesmo manejada, impõe condições operacionais que dificultam a operação de implementos utilizados no SPD. Casão Junior et al. (2006), destacam que, por exemplo, as semeadoras que operam em condições com solo coberto por palha, necessitam de mecanismos especiais para operar nestas condições. Para isso, algumas ferramentas foram projetadas e inseridas nestes implementos, tais como os discos de corte (LEVIEN, et al. 2011). A função destes é cortar o material depositado sobre a superfície permitindo que as ferramentas de mobilização efetuem seu trabalho eficientemente (BIANCHINI, 2002).

Apesar da utilização dos discos de corte ser disseminada em áreas de plantio direto, segundo Araújo et al. (1998), esses, apresentam algumas limitações quando submetidos a condições adversas de trabalho, como umidade e resistência a penetração elevadas. Estes autores destacam que, quando estas ferramentas são associadas a sulcadores em semeadoras, podem apresentar irregularidade no corte da palha, embuchamentos e abertura ineficiente do sulco, afetando o estabelecimento inicial das plantas e, em alguns casos, introduz a palha dentro do sulco (CASÃO JÚNIOR, 2006).

Bianchini e Magalhães (2003), trabalharam com disco de corte sobre palha de cana-de-açúcar e constataram que em condições de elevada resistência à penetração e em solo muito seco esta ferramenta não penetra corretamente no solo e, em elevada umidade, não corta a palha, pressionando-a para dentro do solo, condição esta agravada quando a quantidade de palha é elevada. Apesar disso, estes autores sugerem maiores cargas aplicadas aos discos para melhorar seus desempenhos.

O desempenho das ferramentas de manejo da cobertura de solo é afetado também pela regulagem aplicada a elas. Analisando a operação de corte de resíduos vegetais efetuada por discos de cortes de diferentes formatos e diâmetros, em duas profundidades e três teores de água, Chang et al. (1986), concluíram que a forma e o diâmetro do disco não influenciaram significativamente a qualidade do corte dos resíduos de milho. Entretanto, a força horizontal e a força vertical aumentam quando é incrementada a profundidade de trabalho, diâmetro do disco e resistência à penetração. Ao avaliar características de operação de discos de corte, Tice e Hendrick (1992), concluíram que discos com pequena espessura reportaram menores forças

horizontal e vertical, melhorando ainda quando o ângulo vertical do disco é mínimo, pois aumenta a eficiência de corte.

Além dos fatores citados acima, a quantidade e o manejo da cobertura vegetal antes da operação são condições que oferecem dificuldade ao desempenho das ferramentas de corte. Silva et al. (2007) avaliou o desempenho de 3 discos de corte, liso, ondulado e estriado em cinco tipos de cobertura vegetal (milho, sorgo, aveia-preta, triticale e nabo forrageiro), constatando que quanto maior a quantidade de massa seca da cobertura vegetal, maior a demanda de força vertical e horizontal do disco de corte. Já Santos et al. (2010), ao avaliarem estes mesmos discos em cinco níveis de palha de aveia-preta em superfície (0; 1,0; 2,0; 4,0 e 6,0Mg ha⁻¹), concluíram que a quantidade de resíduo utilizada não oferece resistência ao corte, não havendo variação na força de tração e que quantidades elevadas de palha proporcionam aumento da profundidade de trabalho dos discos pela umidade maior que facilita a penetração dos mesmos no solo.

Quando o implemento possui hastes, o principal problema enfrentado é o embuchamento causado pelo arraste dos restos culturais presente na superfície (DERPSCH et al., 1985). Girardello et al. (2011), destacam em seu estudo que quando o escarificador apresenta disco de corte de palha na frente das hastes e alinhado a elas, promovem menor incorporação de resíduos na superfície, pois fracionam a palha anteriormente à mobilização, em comparação a um escarificador convencional sem esta ferramenta. Entretanto, para utilizar um disco de corte à frente de hastes, diversos fatores devem ser observados, dentre eles a exigência de tração.

Balbuena et al. (1998) estudaram a utilização de discos de corte à frente de hastes e afirmam que o embuchamento de palha pode ser eliminado pelo uso destas ferramentas, além de reduzir em 12% a resistência específica do solo ao corte e 15% na demanda de força de tração.

Camacho e Magalhães (2004), analisaram a operação de diferentes configurações de hastes com e sem disco duplo à frente e verificaram que a presença do disco duplo promove uma redução na área de solo mobilizada e não aumentam o requerimento de força de tração. Estes mesmos autores acrescentam que a presença do disco de corte à frente da haste pode ser uma boa alternativa, pois a força vertical aplicada ao disco facilita o corte da palha na superfície, além de permitir o rompimento de camadas compactadas a maiores profundidades sem aumentar o requerimento de potência. Sendo assim, em operações de descompactação do solo em áreas de

plântio direto, o equipamento como o escarificador pode ser utilizado, acrescido de um disco de corte de palha à frente dos elementos descompactadores, pois o disco irá promover uma menor incorporação dos resíduos da superfície sem agravar a demanda energética.

A manutenção de cobertura vegetal na superfície do solo, por si só, não é garantia de longevidade para o SPD. Deve haver uma preocupação com todos os seus princípios, para que sejam empregados e para que problemas não surjam. Entretanto, conforme Denardin et al. (2008), em grande parte das lavouras de grãos do Brasil, o SPD não está sendo conduzido de acordo com as recomendações mínimas que o viabilizaram como ferramenta da agricultura conservacionista. Estes autores ainda acrescentam que as consequências desta negligência vêm se traduzindo em prejuízos econômicos e ambientais, que variam desde a redução da fertilidade do solo até frustrações de safra, motivada por déficit hídrico, quando da ocorrência de pequenos períodos sem chuva.

Para Denardin et al. (2008), isso aconteceu porque houve apenas adoção da cobertura vegetal em superfície e supressão de importantes práticas, como a rotação de culturas, utilização de mecanismos sulcadores do tipo hastes para distribuição de fertilizantes na linha de semeadura e manutenção de grande quantidade e diversidade de palha em superfície. Estes autores ainda acrescentam que em decorrência disso, surgiram graves problemas, como a concentração de nutrientes em superfície e a compactação do solo. Esta última, restringindo o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e reduzindo as suas produtividades, afetando o desempenho e a qualidade das atividades agrícolas no campo e modificando as condições físicas do solo, como a densidade, macro e micro porosidade e a capacidade de retenção de água do solo. De acordo com Raper et al. (2000), esta é a principal queixa do SPD pelos produtores, os quais afirmam que ele não é sustentável devido aos efeitos nocivos de sua compactação.

Havendo problemas nos cultivos, soluções técnicas devem ser empregadas para resolvê-las promovendo benefícios além daqueles que já estão estabelecidos pela cobertura vegetal, se estas soluções não forem suficientes, novas devem ser propostas para este fim.

4.4 COMPACTAÇÃO DO SOLO

Conceitualmente a compactação do solo consiste na modificação no arranjo das partículas que o constituem, reduzindo o seu volume e os macroporos onde há a circulação de água e ar (CAMARGO e ALLEONI, 1997). Esta alteração também provoca a modificação de outros atributos físicos, como a resistência à penetração, porosidade total e densidade do solo, degradando a estrutura física deste e prejudicando o crescimento e desenvolvimento das raízes das plantas (DRAGHI et al., 2005; ROSIM et al., 2012; TORMENA, et al., 2002; TORMENA et al., 2004).

De acordo com Marquez (2004), esta degradação nas propriedades físicas do solo favorece o desenvolvimento de ervas daninhas, reduz a capacidade de germinação das sementes e a produção final das plantas. Analisando a limitação de produção em seis solos tropicais, Stewart et al. (1990), constataram que a compactação é o principal entre oito outros problemas de solo analisados, sendo caracterizada como problema grave em três e moderada em outros três tipos de solos, superando graves problemas como a erosão e baixa fertilidade.

Segundo Bowen e Kratky (1985), as propriedades mais usadas para avaliar a compactação são a densidade do solo e a resistência mecânica à penetração, demonstrando, esta última, boa correlação com o crescimento radicular, visto que a elongação das raízes varia de forma inversamente proporcional à resistência. Além disso, Gubiani et al. (2013), afirmam que existem vários fatores que interferem sobre o crescimento das plantas, dentre eles os físicos do solo. Estes autores ainda destacam, que existe um grande desafio em separar o efeito dos índices físicos isoladamente em relação aos processos biológicos das plantas.

Em seu trabalho, Foloni et al. (2003), ao avaliarem o efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho, concluíram que tanto o crescimento da parte aérea quanto das raízes é prejudicado. Os mesmos autores ainda acrescentam que uma camada compactada com resistência à penetração de 1,4MPa impede que o sistema radicular do milho atravesse-a e se desenvolva em profundidade. Porém, de um modo geral a literatura adotou 2,0MPa com um valor crítico para o crescimento radicular (TORMENA et al, 1998).

Diversos são os fatores causadores da compactação, para Marquez (2004), a ação dos rodados das máquinas e implementos, bem como o pisoteio do gado em um sistema de integração lavoura pecuária, ambos em condições de umidade elevada,

promovem uma sensível compactação no solo e isso causa um aumento na resistência mecânica de sua estrutura, resultando assim em dificuldade de penetração do sistema radicular das plantas e dos órgãos ativos das máquinas utilizadas na semeadura.

Botta et al. (2001), analisaram os parâmetros físicos de um solo com diferentes níveis de compactação, oriundos de 6, 8, 10 e 12 passadas com os rodados de um trator em um mesmo local, e concluíram que à medida que são aumentadas as passadas, maiores são os valores de densidade aparente e resistência à penetração, indicando que há um aumento da compactação quando ocorre trânsito excessivo de máquinas.

No SPD, a existência de cobertura vegetal sobre a superfície do solo é destacada por Rosim et al. (2012) como condição de absorção de parte da energia transmitida pelo trânsito de máquinas e animais ao solo, dissipando-a antes do contato com o mesmo. Estes autores observaram em seus estudos que a presença de palha em superfície durante o trânsito de um trator proporcionou redução da resistência à penetração no local do rastro em relação a condição sem palha. Desta forma, com a presença permanente de máquinas e sem a presença de quantidades coerentes de cobertura morta, a compactação tende a se agravar.

Da mesma forma, Rosa et. al. (2008), citam que do ponto de vista físico e mecânico, um solo quando não revolvido, ou não preparado, tende a se adensar e, com o passar dos anos a compactação tende a aumentar. Estes problemas ocorrem porque, no SPD, o solo é preparado apenas na linha de semeadura e em pequenas profundidades, geralmente não ultrapassando 0,15m, isso faz com que o sistema radicular das plantas restrinja seu desenvolvimento a esta profundidade. Entretanto, este problema tende a se agravar mais quando, ao invés de utilizar haste sulcadora nas semeadoras, os produtores utilizam sulcadores do tipo disco, diminuindo ainda mais a mobilização de solo na linha de semeadura e, conseqüentemente, reduzindo a capacidade de absorção de água pelas raízes (BEULTER e CENTURION, 2004).

Os problemas que a compactação gera não são restritos a ação nociva ao sistema radicular das plantas, ela também tem grande influência sobre o desempenho de máquinas e implementos. Para Drescher et al. (2011), esta restrição pode interferir diretamente no desempenho de máquinas e implementos agrícolas, promovendo uma ampliação na demanda de potência para tração, evidenciando uma relação entre esta variável e a compactação (CONTE, 2008). Mais especificamente na operação de

semeadura, a compactação do solo também se insere como um problema, pois de acordo com Rosa et al. (2008), ela promove um aumento na demanda de força e aumento no esforço vertical da haste sulcadora da semeadora para efetuar a penetração no solo.

As consequências que a compactação do solo apresenta sobre a redução no desempenho de máquinas e implementos em virtude do aumento da demanda de potência são evidentes (CONTE et al., 2009). Além disso, Oliveira et al. (2003) observou aumento no consumo de combustível de um trator pela maior demanda de potência da semeadora que estava sendo tracionada em área compactada.

Rosa et al. (2008), estudaram o efeito da compactação no esforço de tração e na mobilização de solo por uma haste escarificadora e destacam que a compactação gerou aumento no esforço de tração e redução da área e do volume mobilizados de solo. Baseado nisso, nota-se que esta redução na mobilização de solo, provoca redução da largura do perfil mobilizado pelo elemento descompactador, impactando na regulação do implemento, necessitando uma redução no espaçamento entre hastes, levando a uma redução da largura de trabalho do conjunto trator-escarificador. Da mesma forma, Mentges et al. (2010), ao estudarem a demanda energética de uma haste escarificadora, também observaram o aumento na demanda de tração com o incremento da compactação do solo.

Para Borges et al. (2010), o nível de compactação do solo deve ser considerado na escolha do equipamento a ser utilizado no preparo do terreno, pois é o implemento que caracteriza o tipo de preparo do sistema. Este autor correlacionou o índice de cone, que representa a resistência à penetração do solo, com a demanda de força de tração de um escarificador e encontrou estreita relação entre este índice físicos e a demanda de força do implemento.

A operação de escarificação do solo é comumente recomendada para solos com problemas de compactação pois gera alguns benefícios imediatos provocados pelo rompimento da camada compactada abaixo da superfície (BOTTA et al., 2006), facilitando o desenvolvimento das raízes das plantas, aumentando a infiltração da água para maiores profundidades do solo (ROSA et al., 2008). Além disso, Camara e Klein (2005b), destacam a vantagem da escarificação do solo pela manutenção de palha na superfície ou parcialmente incorporada no solo, reduzindo as perdas de solo por erosão quando comparado ao sistema convencional de preparo do solo.

4.5 DESCOMPACTAÇÃO DO SOLO

A compactação do solo pode ser minimizada de diversas formas. Conforme Araújo et al. (2004), em áreas de plantio direto ela pode ser reduzida por meio da descompactação biológica ou mecânica. A primeira consiste na utilização de plantas que tenham sistema radicular abundante, profundo, agressivo e que seja capaz de crescer em camadas de solo compactado (ABREU et al., 2004), rompendo estas estruturas rígidas e melhorando os atributos físicos, porém o seu uso é limitado pelo baixo potencial econômico das espécies utilizadas. Já a mecânica, que consiste na intervenção por parte de um implemento de preparo do solo, proporciona resultados imediatos e, como o método anterior, reduz a densidade do solo e aumenta os macroporos, favorecendo o crescimento das raízes das plantas.

Segundo Barzegar et al. (2003), a recomendação de uma operação de descompactação em um SPD é baseada não apenas em um ligeiro aumento no rendimento de grãos, mas também na redução da erosão do solo e do maior armazenamento de água no solo. Para isso, a operação necessita apresentar características que a credenciam como preparo conservacionista.

O que se espera dos sistemas de preparo conservacionista, segundo Botta et al. (2001), é que se adeque aos distintos tipos e condições de solo e esta operação resulte em uma melhora nos níveis produtivos, otimizando os processos e levando em conta a limitação à deterioração do solo. Além disso, deve romper a camada compactada, com pouca inversão do solo e manter a palhada na superfície (SEKI, 2010).

Alguns implementos de preparo de solo possuem características importantes para a descompactação mecânica. Neste cenário, Ortiz-Cañavate e Hernanz (1989) acrescentam que um equipamento que apresenta requisitos para o preparo primário em um sistema conservacionista (semeadura direta) é o escarificador, pois tem como principal vantagem a mobilização do solo com pouco revolvimento do solo.

Vários estudos destacam os benefícios da escarificação sobre as características físicas dos solos e as culturas semeadas posteriormente. Conforme trabalho realizado por Secco et al., (2009), a escarificação do solo promoveu efeitos benéficos sobre a cultura do milho, aumentando a produtividade quando realizada em um Latossolo vermelho. Raper et al. (2008), analisaram a distância da linha de semeadura de algodão em relação a uma linha escarificada e o impacto na

produtividade. Estes autores concluíram que quando mais próxima a linha descompactada está em relação às plantas de algodão posteriormente semeadas, maiores são os rendimentos desta cultura. Avaliando o efeito do rompimento de camadas compactadas no rendimento das culturas, Al-adawi e Reeder (1996) observaram maior produção das culturas do milho e soja após a operação.

Analisando diferentes sistemas de manejo do solo em área de agricultura, Tormena et al. (2002) demonstram que a escarificação do solo propiciou aumento na macroporosidade e porosidade total, bem como redução na densidade do solo e resistência à penetração. Colet et al. (2009) estudaram a alteração de atributos físicos de um solo sob pastagem após escarificação e concluíram que esta operação foi eficiente em reduzir a resistência à penetração, densidade e aumentar a porosidade do solo. Em solos de várzea, Machado et al. (1996) afirmam que a escarificação melhora as condições físicas do solo favorecendo o cultivo de espécies de sequeiro.

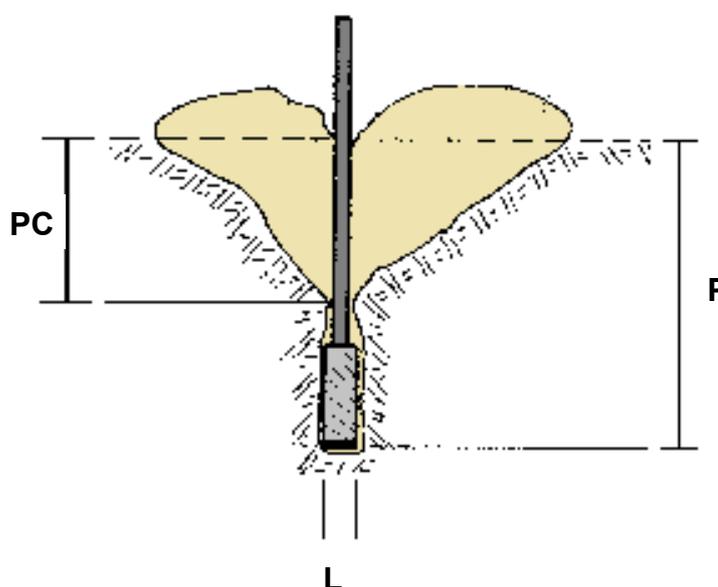
O efeito de uma operação de descompactação mecânica deve estar fundamentado em observância dos índices físicos posteriores, no impacto positivo sobre as culturas semeadas posteriormente e na longevidade dos efeitos. Ao avaliarem a influência da escarificação e do manejo de plantas de cobertura sobre a produtividade de soja, Pontes et al. (2001) concluíram que a escarificação no primeiro ano proporciona aumento da produtividade de soja, em comparação ao SPD. Nunes et al. (2014) encontrou efeito benéfico da escarificação do solo sobre os atributos físicos de um Nitossolo em até 18 meses, mas não encontrou efeito sobre a produtividade de milho.

Para se estabelecer uma operação com um implemento descompactador, devem ser conhecidos os objetivos e a eficácia desta prática. Marquez (2004) recomenda que ela seja efetuada quando é desejado o aumento da porosidade das camadas compactadas, incremento no volume explorado pelo sistema radicular das plantas e para favorecer a penetração de água no perfil do solo. Por isso, a profundidade de descompactação é um fator importante, pois interfere sobre a eficiência da operação e na regulação e desempenho do implemento.

A profundidade de preparo deve ser regulada conforme a profundidade da camada compactada, recomendando-se o posicionamento da ponteira a 0,10m abaixo desta camada (MARQUEZ, 2004). Entretanto, esta profundidade também deve estar atrelada à escolha do implemento, pois a geometria dos órgãos ativos interfere nesta questão.

Spoor e Godwin (1978) em seus estudos definiram a profundidade de atuação de implementos de hastes como sendo dependente da largura da ponteira. Eles constataram que a profundidade crítica de atuação deve ser de 5 a 7 vezes a largura da ponteira da haste. Visto que, em profundidades abaixo destas não ocorre propagação dos efeitos da mobilização (FIGURA 1) e somente a demanda energética é aumentada. Desta forma, observando que a camada compactada oscila em profundidade, há variação no tipo de implemento a ser utilizado.

Figura 1 - Ilustração do efeito da mobilização de solo de uma operação com implemento de haste abaixo da profundidade crítica (PC – profundidade crítica; P- profundidade de trabalho; L – largura da ponteira). Fonte: adaptado de Santos (2013).



O escarificador, conforme Ortiz-cañavate (1995), é composto por uma ou mais hastes e trabalha em profundidades maiores do que os implementos normais de preparo do solo. Além disso, as operações com implementos que possuem hastes, excluindo a semeadura e plantio, podem ser classificadas conforme a profundidade de trabalho. De acordo com Machado et al. (2005), a operação de 0,05 a 0,15m de profundidade é denominada escarificação superficial e de 0,15 a 0,30m, escarificação profunda. Já para Silveira (1988), as operações a mais de 0,30m são denominadas subsolagem.

Em um período recente, foram adicionados aos escarificadores e subsoladores, para a operação em áreas com cobertura vegetal, disco de corte de palha, para reduzir

o embuchamento nas hastes, e rolos destorroadores. A utilização de rolos destorroadores em operações de escarificação é cada vez mais comum, uma vez que eles têm a função de homogeneizar a superfície do solo após a passagem de hastes (FURLANI, et al. 2004), pela formação de torrões, possibilitando a semeadura subsequente com o micro relevo em condições adequadas.

Conforme Gamero (2008), após o surgimento da necessidade de descompactação do solo, vários equipamentos têm sido testados e utilizados para este objetivo, entretanto para conhecer sua eficiência no campo é de fundamental relevância que sejam analisados os parâmetros relativos à dinâmica de mobilização do solo e desempenho energético dos mesmos.

4.6 AVALIAÇÃO DE MÁQUINAS DESCOMPACTADORAS DE SOLO

A avaliação das máquinas e implementos agrícolas, por meio da observância da demanda energética e desempenho operacional, deve ser de conhecimento do gestor da operação, pois estes quesitos impactam diretamente sobre o custo de produção. Isso fica evidente quando observamos a frequência de utilização do trator agrícola, que representa parcela considerável dos custos de produção (SEKI, 2010). Por isso, Silva (1997), destaca a necessidade da otimização do desempenho global do trator e melhor utilização de sua potência, reduzindo o consumo de combustível.

Segundo Mialhe (1996), os tratores agrícolas podem ter seus desempenhos medidos através da avaliação da tomada de potência (TDP), força de tração na barra, patinamento dos rodados e consumo de combustível. Desta forma, durante a tração de implementos podem ser conhecidas as suas demandas energéticas em diferentes condições operacionais mediante o monitoramento do trator.

A tendência de buscar por implementos que possibilitem operações em maiores velocidades de trabalho tem propiciado o desenvolvimento de ferramentas rompedoras de solo que demandem pouca força de tração, porém a escolha por mecanismos escarificadores de pouca demanda energética, em muitos casos, resulta no surgimento de equipamentos com pouca qualidade e volume de solo mobilizado, e por consequência disso, pouca aplicabilidade.

Raper et al. (2004) constataram que antigamente os produtores preocupavam-se mais com o número de hastes que o seu trator poderia tracionar do que a qualidade da operação, porém hoje, o pensamento já é em utilizar implementos com elementos

descompactadores que, além de demandar pouca potência, propiciem uma operação com mínima perturbação do resíduo superficial, possibilitando que logo após já seja feita a semeadura, sem necessitar de um preparo secundário para nivelar a área. Godwin (2007), acrescenta que a busca pela redução da demanda de tração de um implemento não deve ser o objetivo mais importante, mas sim reduzir a resistência específica operacional, expressa pela relação da força de tração com a área de solo mobilizado.

Ao avaliar um implemento para preparo do solo, algumas variáveis devem ser analisadas afim de que os efeitos provocados pelo equipamento sejam compreendidos. Gamero e Lanças (1996), citam alguns parâmetros mensuráveis para se quantificar o desempenho operacional de subsoladores, entre eles estão a área de solo mobilizado, empolamento do solo, velocidade de deslocamento, consumo horário de combustível, força média na barra de tração, patinamento, resistência específica operacional e capacidade de campo efetiva.

A velocidade de deslocamento de uma operação deve estar compreendida entre um determinado intervalo, o qual contemple a faixa mais adequada para elevar a qualidade na operação. Para Ortiz-Cañavate (1995), a velocidade para a operação de descompactação deve ser enquadrada entre 5 e 10km h⁻¹. Para Lanças (1987), a utilização de altas velocidades ocasiona um menor consumo específico operacional de combustível com uma maior capacidade de campo e força de tração. Da mesma forma, para Francetto et al. (2015), a elevação na velocidade proporciona elevação na demanda de força e potência na barra de tração em uma operação de semeadura.

Schuler e Wood (1992), afirmam que em observância de uma operação de descompactação mecânica, algumas premissas devem ser levadas em consideração: a descompactação somente deve ser realizada quando o solo estiver seco para haver uma boa mobilização do solo. Isso é explicado pelo efeito lubrificante que a água produz, o qual é reduzido quando o solo está mais seco (ROSA JÚNIOR, 2000), sendo esta condição promotora de maiores áreas de solo mobilizado, largura efetiva de trabalho e maior rendimento operacional (YSHIMINE, 1993).

A umidade é um fator que determina os efeitos da operação sobre o solo. Para Rípoli et al. (1985) quando o teor de água do solo é baixo, verifica-se um menor risco de compactação pelo tráfego e uma maior mobilização deste solo pelo preparo. Já Nichols et al. (1958), relatam que a operação com equipamentos descompactadores não deve ser recomendada quando o solo estiver muito úmido, pois este pode fluir

plasticamente através das hastes, sem promover a desagregação. Eles ainda afirmam, que quanto maior a coesão do solo maior são os efeitos de uma operação de descompactação, ou seja, em condições de solo seco pode haver uma maior área de solo mobilizado.

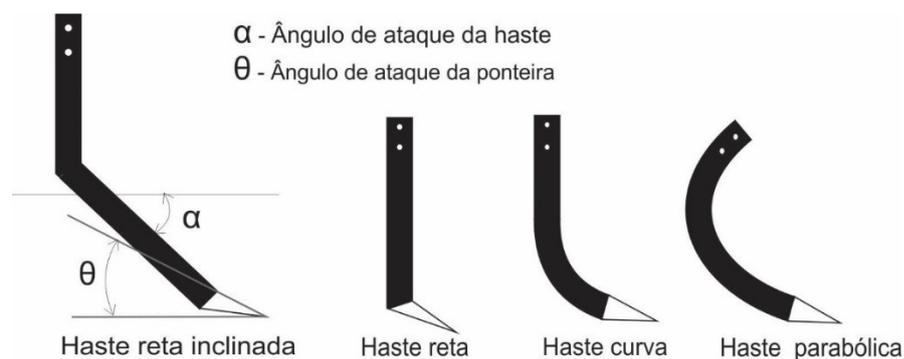
A influência do teor de água do solo no desempenho de implementos descompactadores foi constatada por Beltrame (1983), que ao ensaiar três subsoladores com características geométricas distintas, concluiu que a área mobilizada do solo foi maior nos tratamentos com menores teores de água, independentemente do subsolador utilizado. Sasaki e Gonçalves (2005), avaliando o desempenho operacional de um subsolador com haste parabólica em três Latossolos com diferentes teores de água no solo, também concluíram que quanto menor a umidade no solo, maior é o volume de solo mobilizado. Estes autores ainda acrescentam que, para os três Latossolos estudados, o desempenho operacional do subsolador foi superior nos teores mais baixos de água no solo.

Ao avaliar uma haste sulcadora em diferentes teores de água do solo e a influência destes sobre parâmetros operacionais, Cepik (2002), constatou que a força de tração necessária para que uma haste sulcadora de adubo de uma semeadora rompesse o solo aumentou com a profundidade de trabalho e o maior impacto foi na condição de solo friável, em comparação ao solo seco e úmido. O autor ainda acrescenta que o maior volume de solo mobilizado pela haste sulcadora foi obtido em solo friável.

Segundo Arvidsson e Bölenius (2006), o preparo do solo em menores teores de água produz uma maior proporção de agregados pequenos, esta condição geralmente mais favoráveis ao crescimento das plantas. Também, esses autores afirmam que a mobilização primária com solo seco tem um efeito muito maior do que em uma condição de solo úmido.

Tão importante quanto as condições do solo e as operacionais, as características geométricas das hastes e ponteiros também possuem função marcante no desempenho do escarificador no campo. Bellé et al. (2014) destacam a existência de diferentes formatos de hastes e que o ângulo de ataque destas e de suas ponteiros interferem nos seus desempenhos. Além disso, esses autores apontam os principais formatos de hastes como sendo o parabólico, curvo, reto e reto inclinado (FIGURA 2).

Figura 2 - Principais formatos de hastes e observação do ângulo de ataque.



Raper et al. (2005), avaliando três elementos descompactadores distintos no ângulo de ataque, formato (retas e curvas), seus efeitos no solo e na produtividade de algodão durante três cultivos, concluíram que a configuração composta por uma haste reta com inclinação de 45° demandou menos potência quando comparada com as demais de maior ângulo de ataque. Estas informações concordam com as de Lanças (1988), que cita este formato e ângulo como sendo ideais.

Da mesma forma, Raper (2002), quando equiparou diversos elementos descompactadores, diferentes em ângulo de ataque e formato, também diagnosticou que os conjuntos formados por hastes retas com 45° de inclinação demandam menos força de tração e potência na barra de tração e as hastes retas com 90° de inclinação em relação ao solo tem maior resistência específica operacional.

Na avaliação de três elementos descompactadores com hastes retas e diferentes ângulos de ataque (21° , 26° e 45°) em um Latossolo Vermelho, Beltrame (1983) constatou uma maior eficiência em descompactar o solo para a haste reta inclinada em 21° . Stafford e Tanner (1976) também testaram três hastes retas (45° , 67° e 90°) e concluíram que com o aumento da inclinação é aumentada a força de tração. Martucci (1985) acrescenta que hastes com pequenos ângulos de ataque (em torno de 20°) demandam menos energia, todavia alcançam uma área de solo mobilizada insuficiente e as com 45° de inclinação têm uma demanda de potência média, porém com uma área de solo mobilizada satisfatória. Mckyes e Maswaure (1997) salientam que a força de tração também é reduzida quando é diminuído o ângulo de ataque das ponteiros dos elementos descompactadores.

Além das características geométricas, outros fatores também interferem na mobilização do solo pelos implementos. Spoor e Godwin (1978), afirmam que a mobilização do solo é dependente da profundidade de trabalho do implemento, das características físicas do solo, do comprimento e da largura da haste. Bianchini et al. (1999) avaliaram um escarificador de hastes parabólicas em quatro profundidades e duas velocidades de deslocamento e concluíram que o aprofundamento das hastes proporciona aumento na área do solo mobilizado de uma forma linear.

De acordo com Cepik (2002), que avaliou o aprofundamento de uma haste sulcadora em diferentes teores de água do solo e a influência sobre parâmetros operacionais, constatou que a força de tração necessária para uma haste sulcadora de adubo rompesse o solo aumentou com a profundidade de trabalho. A potência demandada pelas hastes da semeadora-adubadora foi maior quando a profundidade de trabalho passou de 0,06 para 0,12m, em todos os estados de consistência do solo.

Ao avaliarem a mobilização de solo de uma semeadora-adubadora com haste sulcadora em quatro profundidades de deposição do fertilizante em uma área de semeadura direta sob pastejo, Alves et al. (2010), observaram que o aumento da profundidade proporciona incremento na área de solo mobilizado.

Outra forma de avaliação de implementos é por meios qualitativos, como os métodos de observação direta intensiva. Conforme Marconi e Lakatos (2007), a observação é uma técnica de coleta de dados para conseguir informações e utiliza os sentidos na obtenção de determinados aspectos da realidade. Eles ainda destacam que, não consiste apenas em ver e ouvir, mas também examinar fatos e fenômenos que se deseja estudar. Da mesma forma, Marconi e Lakatos (2009), apresenta vantagens como a possibilidade direta e satisfatória de estudar uma ampla variedade de fenômenos e permite a evidência de dados não constantes em questionários ou avaliações quantitativas.

Nota-se que há inúmeros fatores que contribuem positivamente e negativamente sobre o sistema de cultivo e sua longevidade, operação e desempenho do implemento e os custos de produção, entretanto a análise criteriosa destes mediante a observação de variáveis quantitativas e qualitativas de desempenho, das características específicas da propriedade rural e das culturas é fundamental para o sucesso das decisões proferidas pelo gestor.

4.7 PROJETO DE PRODUTO

O engenheiro é o profissional com a missão de encontrar soluções para problemas técnicos. Pahl et al. (2005), destaca que este profissional deve se basear em conhecimentos das ciências naturais e da engenharia para atender os objetivos prefixados e autopropostos. Sendo assim, na medida que conhecimentos são superados, novos desafios se apresentam, gerando demandas projetuais de toda a ordem.

Ferreira (1986), destaca que a palavra projeto remete a uma forma de executar ou realizar algo no futuro. Back et al. (2008), afirmam que o projeto de um produto pode ser formulado por um ato, sujeito às restrições de resolução, de planejar uma peça ou um sistema para atender as necessidades estabelecidas. Desta forma, a evolução de uma ideia até a transformação de um produto necessita de planejamento e conhecimento para que o produto seja eficaz no que se propõe a atender, não havendo dimensão estabelecida como mínima ou máxima e sim mais ou menos complexa.

Para o desenvolvimento de um produto é necessário que haja organização e esta é chamada por Back et al. (2008), como metodologia de projeto, sendo composta pelos conhecimentos, métodos e ferramentas utilizadas para o desenvolvimento. Além disso, o produto resultante de um processo de desenvolvimento, segundo Barroso Neto (1982), pode ser basicamente de dois tipos, produto novo ou redesenho de um produto existente, onde o primeiro consiste em produzir uma nova solução formal e funcional e o segundo é a readaptação de um produto já existente a novas realidades do mercado.

Stemmer (1974), amplia um pouco a visão das tipologias de projetos, tornando-as mais variáveis, pois ele subdivide em 3 tipos, onde a execução original é destacada como a mais complexa pois denota ser o produto oriundo novo, não existindo previamente. Além deste, o autor descreve a existência de mais dois tipos, o produto aperfeiçoado e o adaptado, onde o primeiro é a correção de falhas de um produto já existente e o segundo a proposição de pequenas modificações para oferecer um produto que atenda especificamente um nicho de mercado.

Rozenfeld et al. (2000) traz uma visão diferenciada de produto, onde todos projetos podem ser descritos como novos, pois as empresas podem projetar utilizando o conceito plataforma, onde há a inovação no desenvolvimento de diferentes

elementos e estes podem ser utilizados em diferentes combinações para obter resultados distintos, produtos distintos, havendo inovação no arranjo de elementos, mesmo estes já existentes em produtos da empresa. Portanto, Romano (2003), destaca em seu trabalho que com base nesses conceitos de Stemmer (1974), Barroso Neto (1982) e sob a visão de Rozenfeld et al. (2000), que podem haver produtos novos originais, aperfeiçoados e adaptados, ou seja, com a presença de inovação, aperfeiçoamento de produtos já existentes e adaptações para atender nichos específicos, respectivamente.

A sistematização do processo de desenvolvimento de um produto é extremamente importante para a orientação da equipe de projetistas. Estas fases, conforme PMI (2000), são sequenciais e quando agrupadas contemplam o ciclo de vida do projeto. Além disso, elas não, necessariamente, são restritamente sequenciais, geralmente há sobreposição entre uma e outra principalmente na fase de planejamento (VALERIANO, 1998).

As fases de um projeto, para PMI (2000), são etapas a serem concluídas para que o processo avance, onde que deve haver uma reflexão ao final de cada uma delas, de forma a revisar tudo o que foi feito, dando segurança nas tomadas de decisões. Além disso, a simples finalização de uma fase não implica em autorização imediata de início da próxima, pois outros custos e riscos podem estar envolvidos e isso pode decretar a finalização do projeto ou mesmo a pausa temporária em virtude dos riscos elevados.

O número de fases, ou mesmo, o processo envolvido em cada uma delas, denotam as diferentes metodologias de projeto descritas na literatura. Alonço (2004) elaborou uma síntese comparativa entre as metodologias de projeto de Back (1983), Ullman (1992), Pahl e Beitz (1996) e Hubka e Eder (1996), observando bastante semelhança entre as fases de cada uma destas quanto ao detalhamento dos processos. Romano (2003), da mesma forma, também sintetizou as metodologias destes autores anteriores e de outros 13, e observou similaridade no objetivo das fases projetuais na maioria. Com isso, este autor destaca que a existência de fases é extremamente importante frente a complexidade e da diversidade de atividades envolvidas e que a subdivisão facilita a compreensão, caracterização e controle do projeto.

A unificação do processo de desenvolvimento de um produto em um modelo de consenso se torna extremamente importante. Por isso, Ogliari (1999) sintetizou

diversas metodologias de projeto e unificou um projeto sistemático de produtos, englobando 4 fases, projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. Esta divisão, de acordo com Back e Ogliari (2000), significam a representação mais abrangente das diversas metodologias de projeto encontradas na literatura.

As metodologias de projeto geralmente, excetuando-se as referenciais e precursoras do desenvolvimento de produto, são específicas para cada tipo de produto e com enfoque mais específico. Desta forma, buscou-se nesta tese, o enfoque voltado ao desenvolvimento de máquinas e implementos agrícolas e as metodologias e conceitos de projeto voltados basicamente para este eixo.

4.8 DESENVOLVIMENTO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS

O desenvolvimento de máquinas agrícolas no Brasil por muito tempo deu-se artesanalmente mediante procedimentos de tentativa e erro, sem o emprego de metodologias de projeto. Esta forma, comum ainda em micro e pequenas empresas de implementos agrícolas, é bastante onerosa financeiramente e há dificuldade de serem encontradas informações sobre o processo de desenvolvimento dos produtos gerados. Isso porque, o processo é, geralmente, realizado por um único responsável mediante sua experiência (ROMANO, 2003).

Carvalho (2008) destaca que o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas é oriundo, em sua maioria, de demandas do setor produtivo, bem como a adaptação de concepções. Esta autora, ainda acrescenta que esses projetos são, em sua maioria, melhorias de soluções já comercializadas no mercado. Além de apresentar soluções para atender a pré-requisitos que a idealizaram, Nietiedt et al. (2010) afirma que, as máquinas agrícolas também devem ser desenvolvidas para atender a pontos importantes como custos reduzidos de manutenção. Com isso, para Marini (2007), os modelos que ofereçam ao produtor rural maior segurança, menor manutenção e melhor qualidade, determinarão as perspectivas de desenvolvimentos futuros.

De acordo com Pinheiro (1999), no Brasil o processo de desenvolvimento de máquinas novas está baseado na relação que existe entre os produtores rurais, que são os consumidores, e o representantes da própria indústria, entretanto apenas uma pequena parcela do recurso oriundo deste mercado é convertido em soluções

inovadoras. Desta forma, na ausência de criatividade projetual, o mercado internacional de máquinas é observado na busca por inovações tecnológicas. Marini (2007), afirma que isso ocorre pelo crescente aumento nas realizações de visitas dos profissionais das empresas em feiras de máquinas agrícolas internacionais, ou mesmo pela realização de joint-ventures com empresas internacionais. Isso destaca a fragilidade histórica nos processos inovadores das indústrias de máquinas agrícolas brasileiras.

Romano (2003), enaltece em seu trabalho que o primeiro registro sobre desenvolvimento de máquinas e implementos agrícolas foi descrito por Mialhe em 1974 em publicação de um livro sobre mecanização agrícola. Após isso, os processos de desenvolvimento passaram a ser estudados e aplicados com maior intensidade de forma a sistematizar o processo. Dentro disso, Romano (2003), destaca a necessidade de haver a descrição de fases, atividades, responsáveis, recursos necessários, de forma que todos estes componentes sirvam de referência para a equipe de projeto. Com isso, há maior facilidade em tomadas de decisões uma vez que o conhecimento está registrado e disponível a todos.

O processo de desenvolvimento de uma máquina agrícola é composto, segundo Romano (2003), por três macro fases. Estas, retratam a existência de etapas distintas e delimitadas, havendo inicialmente demandas de planejamento, depois realizações projetuais e, por fim, a implementação do produto no mercado, conforme o fluxograma apresentado na figura 3.

Figura 3 - Processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas sistematizado e descrito por Romano (2003).



Fonte: Romano (2003)

O fluxograma apresentado, caracteriza-se também o ciclo de vida do projeto pois sistematiza resumidamente as suas fases da vida. Segundo Reis e Focellini (2006), a análise do ciclo de vida é extremamente importante para que todos os requisitos estejam sendo observados durante o desenvolvimento. Estes autores acrescentam que, para cada fase, clientes distintos irão interferir no projeto e poderão, futuramente, serem referência técnica sobre o produto.

A indicação do sentido do fluxo do projeto significa que há dependência das etapas e que o final do processo, após a validação do produto, indica o encerramento do projeto e desenvolvimento da máquina agrícola ou implemento, com este já consolidado no mercado.

O planejamento do projeto de máquinas agrícolas é uma etapa muito importante pois nela são tomadas decisões organizacionais que estendem delegações e ações a todo o processo de desenvolvimento deste produto. Baumhardt (2012), destaca que nesta fase o trabalho ao longo do processo é organizado e o novo produto é planejado frente as estratégias de negócio da empresa, e Romano (2003) afirma que nesta etapa são definidos os trabalhos a serem realizados, as restrições, custos e demais informações utilizadas pelos gestores para o gerenciamento do projeto. A macrofase 2, específica de projeção, é subdividida pelo autor em 4 fases, sendo estas o projeto Informacional, conceitual, preliminar e detalhado.

O projeto informacional congrega os principais estudos das necessidades dos clientes para que estas informações, posteriormente, sejam transformadas em objetivos e metas que o produto deverá atender (REIS, 2003). Em relação às máquinas agrícolas as informações fundamentais para o processo de desenvolvimento são oriundas de áreas multidisciplinares, entretanto para Bellé et al. (2012), as que advém do campo, fruto de observação de agricultores e técnicos, são as mais importantes, pois aproximam o projetista à realidade da utilização da máquina, onde a ausência de instrução e escolaridade são fatores importantes. Por isso, Alonço (2004), destaca a necessidade da formulação obrigatória de restrições de segurança já nesta etapa, de forma que o escopo do produto já contemple requisitos normativos e legais sem afetar a sua funcionalidade e mantendo a segurança do operador.

No projeto conceitual, são tomadas decisões em relação a concepção do produto em virtude de uma necessidade observada e destacada na etapa informacional anterior. Nesta fase, a necessidade estará sujeita a limitações de recursos e restrições de projeto estabelecidas anteriormente (SANTOS, 2004). Além

disso, Romano (2003), destaca que, em observância também às especificações de projeto, é definida a estrutura funcional, são elencados princípios de solução e a definição de qual destes é o mais promissor para a aplicação no produto e já com as restrições de segurança incorporados.

O projeto preliminar consiste no detalhamento das concepções definidas, produzindo layout preliminares com a determinação das formas que o produto poderá apresentar vislumbrado em desenhos. Nesta etapa, cada componente do produto é detalhado separadamente e são otimizadas suas formas, de modo a identificar os princípios de solução aplicados a cada um deles, havendo, por final, a otimização dos desenhos, a verificação de possíveis erros e a definição do layout final com a análise de viabilidade técnica e econômica.

A última etapa e que encerra o processo de projeção no desenvolvimento de máquinas agrícolas é o projeto detalhado, onde as formas, dimensões e cálculos estruturais são estabelecidos para todos os componentes do produto. A partir disso, é possível a construção do protótipo e sua avaliação com análise de desempenho e execução de do plano de ação corretiva se necessário para, ao final, aprová-lo e proceder os próximos encaminhamentos sobre a produção dos componentes. Esta fase encerra-se com o encaminhamento do pedido de investimento para a preparação da produção.

As fases de desenvolvimento de um produto são necessariamente sequenciais e cada uma necessita ser contemplada em sua magnitude para que uma nova seja iniciada. Por isso, o tempo despendido em cada etapa deve ser proveitoso de forma a contemplar o amadurecimento do projeto e a evolução do conhecimento dos projetistas para que o resultado atenda às necessidades dos clientes, possua uma vida útil prolongada, seja seguro, agregue valor econômico para a empresa e seu impacto seja positivo para a sociedade.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 MATERIAL

5.1.1 Área experimental

O experimento de teste de concepções foi conduzido em uma área experimental localizada no câmpus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), bairro Camobi, Santa Maria, Rio Grande do Sul, em um solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico (SIBCS, 2013). A área foi demarcada e dividida em parcelas de 60m² (3x20m), sendo necessários 4320m² de área total útil para compreender as 72 unidades experimentais. O histórico da área é de cultivos sucessivos de soja e pastagem de inverno de Azevém (*Lolium multiflorum*), sendo esta última a cobertura vegetal predominante no momento do trabalho.

O clima da região enquadra-se como subtropical úmido com precipitações médias bem distribuídas durante o ano (Cfa), conforme classificação climática de Köppen. A caracterização física do solo deu-se pela coleta de 25 amostragens na profundidade 0-0,20m, amostras aleatoriamente distribuídas, para posterior análise em laboratório e determinação da textura, limite de liquidez, limite de plasticidade, densidade e umidade gravimétrica do solo seguindo metodologia proposta pela EMBRAPA (1997), grau de compactação do solo e resistência à penetração. O solo apresentou 39,06% de areia, 43,45% de silte e 17,49% de argila e sendo classificado como de textura franca. Na tabela 1 estão expostos os valores de densidade e umidade gravimétrica do solo.

Tabela 1 - Variáveis umidade gravimétrica, limites de Atterberg e densidade do solo.

	Umidade gravimétrica (%)	Densidade do solo (g cm ⁻³)	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)
Valor médio	15,3	1,56	19,80	17,52
Desvio padrão	0,021	0,081	-	-
Coeficiente de variação (%)	14,04	5,21	-	-

A umidade gravimétrica amostrada no momento do experimento esteve abaixo do limite de plasticidade, condição propícia para a operação. Ou seja, o solo esteve na faixa de consistência semi-sólido, esta compreendida entre os limites de Atterberg denominados limite de plasticidade e limite de contração. Nesta condição, o solo apresenta teor de água que lhe proporciona o caráter de friabilidade, imprescindível para ocorrer o seu fraturamento sem que haja elevada demanda de tração e a propagação de forças através do solo propiciem a formação de torrões de tamanho pequeno ou médio. Os valores de umidade gravimétrica e densidade do solo tiveram desvio padrão e coeficiente de variação baixos, mostrando baixa dispersão em relação à média e boa homogeneidade.

O solo também foi caracterizado quanto ao grau de compactação do solo, determinado conforme a equação 1 fazendo-se a relação entre a densidade do solo, descrita anteriormente, e a densidade referência, que neste caso foi obtida através do ensaio de compactação de Proctor (CARTER, 1990; TWERDOFF et al., 1999) realizado junto ao Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da UFSM. Utilizou-se como densidade referência a densidade aparente do solo, que foi de $1,678\text{g cm}^{-3}$.

$$GC = \left(\frac{\rho_s}{\rho_a} \right) \times 100 \quad (1)$$

GC – Grau de compactação (%);

ρ_s - Densidade do solo (g cm^{-3});

ρ_a - Densidade aparente do solo (g cm^{-3});

O grau de compactação encontrado foi de 92,97%. Suzuki et al. (2007), analisou dentre outros fatores, a relação entre a resistência à penetração do solo e o grau de compactação do solo, e observou que para o valor de resistência à penetração de 2Mpa, considerado por Taylor et al (1996), como limitante ao crescimento radicular, o grau de compactação correspondente para o Argissolo estudado foi de 93%. Isso mostra que o estado de compactação da área experimental estava elevado, justificando uma operação de descompactação mecânica do solo.

A resistência à penetração foi determinada utilizando-se um penetrômetro digital, marca Falker, modelo PLG 1020. Com este equipamento armazenaram-se 34 leituras na faixa de profundidade de 0-0,40m, com aquisição a cada 0,01m e a resistência do solo à penetração média da área na camada de 0-0,40m foi de 2.135 kPa, entretanto a profundidade onde ocorreu a média com o maior valor foi 0,11m e 3.387kPa.

Para a composição da variável índice de força foi efetuada a média das resistências do solo à penetração apenas da camada de 0,20 – 0,30m, conforme metodologia proposta por Camacho (2002), que destaca a necessidade de utilizar os valores da faixa de profundidade onde atuaram as elementos descompactadores.

A quantidade de cobertura vegetal foi determinada fazendo-se a coleta da vegetação contida na porção interna de um quadrado metálico de 0,5m², sendo efetuada uma amostragem por tratamento distribuída aleatoriamente. Posteriormente, o material coletado foi depositado em sacos plásticos com identificação e, em seguida, encaminhado para a secagem em estufa durante 24 horas a uma temperatura de 105°C até peso constante.

A condução eficiente do SPD, conforme caracteriza Cruz et al. (2001), está baseada na escolha de espécies vegetais que no sistema de produção disponibilizem no mínimo 6.000kg de MS ha⁻¹. Como a cultura de cobertura presente na área produziu apenas 1.555kg de MS ha⁻¹, haveria um déficit de mais de 4.000kg de MS ha⁻¹ para compor uma condição de cobertura ideal. Por isso, foi adicionado nas linhas de preparo um aporte de palha de azevém que, somada a cobertura original, atingiu uma média de 6.494kg de MS ha⁻¹, chegando a uma quantidade de cobertura morta condizente com a necessidade do sistema de cultivo e oferecendo condições para o ensaio do mecanismo condicionador de palha desenvolvido.

A palha extra foi distribuída de forma homogênea apenas na porção central da parcela onde haveria de passar a linha de preparo do solo, estando contida na largura de 1,5m e ao longo dos 20m de cada parcela. Para a verificação da homogeneidade da quantidade de cobertura vegetal entre os tratamentos, foram coletas amostras em cada tratamento e secas em estufa a 105°C durante 24 horas até umidade constante, totalizando 24 amostras, conforme tabela 2.

Tabela 2 - Massa seca, coeficiente de variação e desvio padrão da quantidade de palha presente no experimento.

	Massa seca de palha (kg ha ⁻¹)	Coeficiente de variação (%)	Desvio Padrão
Valor médio	6.494	7,55	490

Analisados a quantidade de matéria seca, coeficiente de variação e desvio padrão, observa-se que houve homogeneidade entre os tratamentos e que houve pequena variação em relação à média.

5.1.2 Equipamentos utilizados

A estrutura porta-ferramentas (EPF) que foi utilizada para o acoplamento dos elementos descompactadores, discos de corte, rolos destorreadores e mecanismo acondicionador de palha, visualizada na figura 4, foi projetada e construída por Gassen (2011) em conjunto com a empresa Stara S/A Indústria de Implementos Agrícolas².

Figura 4 - Estrutura porta-ferramentas.



² A citação de marcas e modelos comerciais, neste trabalho, não representam a recomendação dos mesmos por parte do autor.

Esta EPF foi construída e projetada para o acoplamento de subsistemas de máquinas e implementos agrícolas, como hastes de escarificadores e subsoladores, discos de arado, discos de corte de palha, dispositivos de abertura e fechamento de sulco de semeadoras-adubadoras, e assim possibilitar a realização de experimentos, ensaios e avaliações desses subsistemas quanto aos seus desempenhos funcionais e possibilitando variações de profundidade, angulações e posições.

A EPF foi organizada para o acoplamento das ferramentas estudadas, de forma que foram possíveis as combinações para formação das concepções e as variações nas distâncias das regulagens. Assim todas as combinações dispuseram das mesmas condições, propiciando mesmos critérios avaliativos, para excluir quaisquer interferências relativas ao implemento sobre as concepções.

O trator utilizado para tracionar a EPF foi da marca Valmet, modelo 62id Sincro-O-mático, ano de fabricação 1978 (FIGURA 5), potência motora de 42,7kW (58cv) a 2.300 rpm e este esteve equipado com pneus dianteiros diagonais e direcionais F2 750-16 (6 lonas) calibrados com 206kPa, pneus traseiros motrizes diagonais R2 14.9-28 (6 lonas) calibrados com 138kPa. Para a realização das operações, foram adicionados 100kg de lastro metálico na porção dianteira e aproximadamente 330kg de lastro líquido na traseira, sendo que a massa total do trator no momento do experimento foi de 2.480kg, resultando em uma distribuição de peso de 33% sobre o eixo dianteiro e 67% sobre o eixo traseiro.

Figura 5 - Trator utilizado no trabalho com instrumentação eletrônica acoplada.



No trator foi acoplada uma instrumentação eletrônica, para coletar os dados de consumo horário de combustível, força na barra de tração e velocidade das rodas motrizes. Além disso, foi utilizada uma roda odométrica para aferição da velocidade real de deslocamento.

5.1.3 Instrumentação eletrônica

Fundamental para a obtenção dos dados de força na barra de tração, consumo horário de combustível, patinação das rodas motrizes e velocidade real de deslocamento, a instrumentação eletrônica que foi utilizada tem seus componentes eletrônicos e programa computacional similares ao desenvolvido por Russini (2009) e utilizado por Bellé (2013) e Francetto (2014). Na tabela 3 está disposta a lista de componentes eletrônicos e mecânicos utilizados na instrumentação do trator e equipamentos auxiliares para extração dos dados, bem como seus modelos e funções.

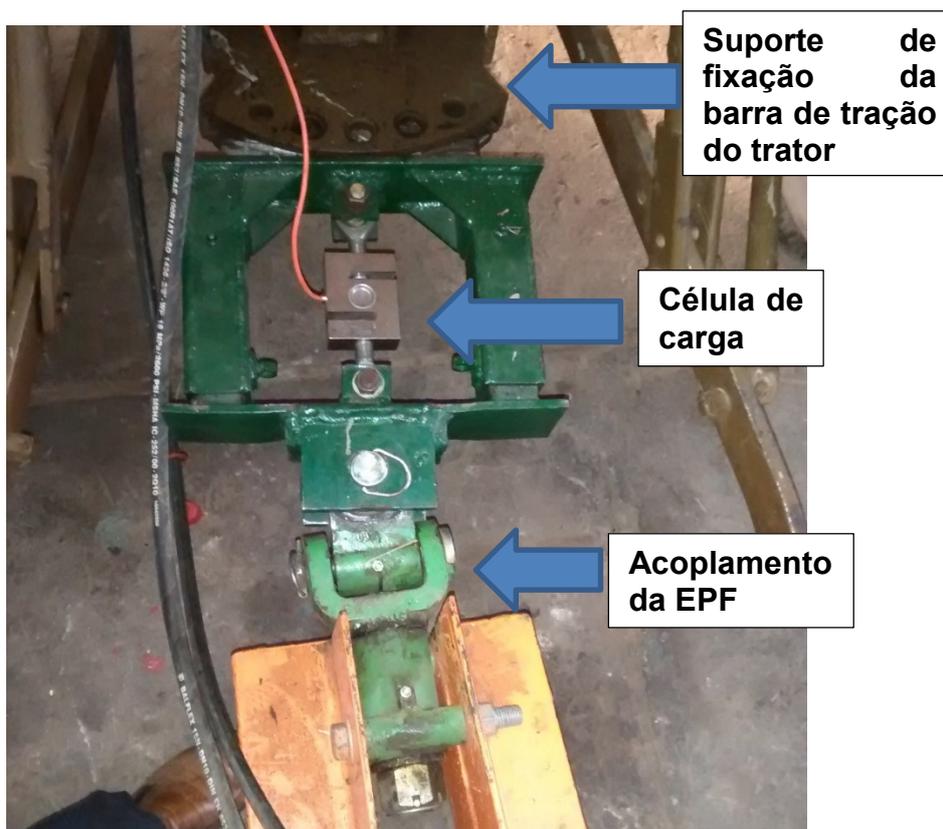
Tabela 3 – Componentes eletrônicos que compõem a instrumentação, equipamentos auxiliares e as variáveis coletadas através deles.

Instrumentação		
	Variável coletada/função	Modelo
1	Força na barra de tração	Célula de Carga Berman, modelo BT5I/5T
2	Rotação dos rodados	Sensor Indutivo, modelo LM 12-3004 PC
3	Consumo de combustível	Fluxômetro Oval Corporation, modelo Oval M-III LSF 41
4	Armazenamento de dados	Datalogger Campbell Scientific, modelo CR 1000
5	Resistência à penetração	Penetrolog Falker PLG 1020
6	Relevo original do solo Perfil empolado do solo Perfil basal do solo	Perfilômetro de 15 hastes, LASERG
7	Velocidade de deslocamento	Roda Odométrica, LASERG

O sistema de armazenamento de dados está estabelecido pela conexão dos sensores indutivos, célula de carga e fluxômetro com o *datalogger*, que é um gravador de dados eletrônicos, o qual recebe e armazena os dados oriundos dos sensores a ele conectados, em um tempo pré-definido e de acordo com uma lógica de programação a ele atribuída. Possui uma baixa taxa de amostragem e uma grande capacidade de armazenamento de dados. A extração dos dados foi executada via cabo com entrada e saída serial conectado a um computador portátil.

A célula de carga, responsável pela amostragem da força na barra de tração, foi acoplada em um suporte retrátil especialmente construído, o qual interliga o suporte de fixação da barra de tração do trator com o cabeçalho da estrutura porta-ferramentas (EPF) onde o esforço para tração é transmitido exclusivamente através da célula de carga, conforme figura 6.

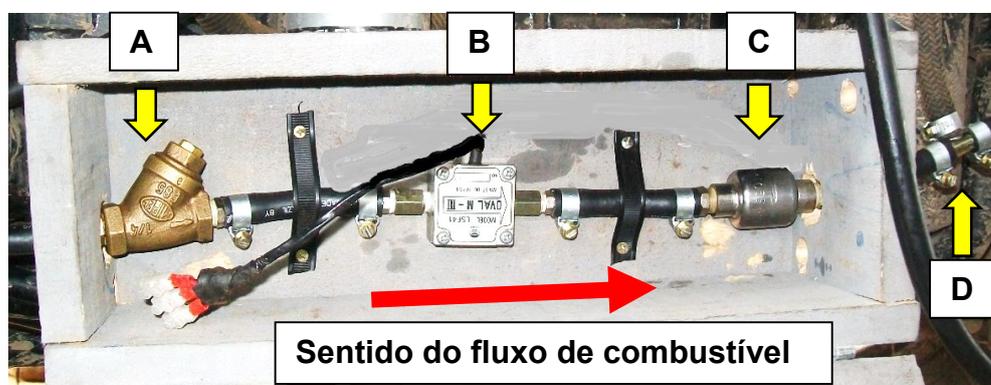
Figura 6 - Estrutura de acoplamento para aferição da força na barra de tração.



Para a aferição do consumo de combustível, o conduto do fluído do segundo filtro de combustível do trator até a bomba injetora foi substituído pela estrutura que

contém o fluxômetro (FIGURA 7). Esta estrutura contém um filtro de linha (A) posicionado previamente ao fluxômetro e uma válvula de retenção (C) posteriormente, para impedir o fluxo inverso do combustível. Como nem todo combustível enviado pela bomba injetora aos bicos injetores sofre combustão, o excesso retorna ao tanque e isso poderia mascarar a medição do combustível consumido durante os tratamentos. Sendo assim, o conduto de retorno foi posicionado à frente do fluxômetro, forçando a queima do combustível, sem prejudicar a confiabilidade dos dados coletados.

Figura 7 - Da esquerda para a direita, filtro de linha (A), fluxômetro (B), válvula de retenção (C) e retorno do combustível (D), respectivamente.



Para a medição da velocidade dos rodados motrizes foram utilizados sensores indutivos posicionados nos rodados traseiros do trator (FIGURA 8) através de uma estrutura composta por um sistema de acoplamento em quatro parafusos no rodado, suporte para o sensor e uma engrenagem de aço de 40 dentes. Com o deslocamento do trator, a engrenagem gira e o sensor promove a leitura indireta da rotação da engrenagem que posteriormente é convertida para velocidade da roda motriz.

Figura 8 - Estrutura de acoplamento do sensor indutivo.



Também fundamental para o cálculo da patinagem, a variável velocidade real de deslocamento, foi coletada mediante fixação de uma roda odométrica na EPF, conforme pode ser observado na figura 9. Esta roda também é composta por um sensor indutivo com funcionamento similar aos anteriores.

Figura 9 - Roda odométrica acoplada na estrutura porta-ferramentas.



O processo de determinação da velocidade da roda odométrica (velocidade real) e velocidade da roda motriz consistiu na armazenagem da frequência emitida pelos sensores ao *datalogger*, pois estes sensores utilizados emitem pulsos elétricos de acordo com a passagem dos dentes da engrenagem por eles, indicando a frequência da rotação. Ou seja, a roda gira e as engrenagens, que estão unidas por um suporte ao rodado, também giram e o sensor indutivo emite pulsos elétricos, que em maior rotação da roda têm intervalo entre pulsos menores, propiciando maior frequência. A determinação da velocidade de deslocamento e do patinamento estão melhor descritos no item 5.2.3 e conforme as equações 2 e 3, respectivamente.

5.1.4 Ferramentas e subsistemas utilizados

As ferramentas que foram utilizadas no trabalho são relativas ao corte e acondicionamento de resíduos culturais superficiais, mobilização do solo e homogeneização da superfície do solo, como disco de corte, elementos descompactadores, mecanismo acondicionador de palha e rolo destorroador. O elemento descompactador (ED) foi assim denominado, pois não será estudada separadamente as hastes e suas ponteiros, mas sim o conjunto (haste + ponteiro).

Dessa forma, o conjunto apresenta sua característica peculiar, como formato, espessura e ângulo de ataque de haste e ponteira, onde foram utilizados dois modelos comerciais.

A profundidade de trabalho teórica foi 0,25m para os dois ED utilizados. A profundidade real para o EDRI foi de 0,27m e para o EDP foi de 0,22m. Os equipamentos auxiliares utilizados foram um penetrômetro digital, marca Falker, modelo PLG 1020, para a determinação da resistência à penetração, uma máquina fotográfica digital marca Samsung, modelo Syber Shot, para o registro digitalizado das imagens.

Elemento descompactador reto-inclinado

O elemento descompactador reto-inclinado (EDRI) equipa um escarificador comercial da empresa Stara S/A Indústria de Implementos Agrícolas (FIGURA 10). Sua haste tem 0,035m de espessura e ângulo de ataque de 60°, a ponteira apresenta largura de 0,055m e ângulo de ataque de 20°.

Figura 10 - Haste e ponteira do elemento descompactador reto inclinado.



Elemento descompactador parabólico

O elemento descompactador com formato parabólico (FIGURA 11), denominado EDP, foi retirado de um escarificador da marca Jan Implementos Agrícolas S/A[®]. A haste possui formato parabólico e largura de 0,03m, a ponteira possui ângulo de ataque de 20° e largura de 0,05m.

Figura 11 - Elemento descompactador parabólico.



Disco de corte de resíduos culturais

O disco utilizado é do tipo liso (FIGURA 12), apresentando diâmetro de 0,46m, onde este diâmetro para discos de corte, conforme Kushwaha, Vaishnav e Zoerb (1986), proporciona desempenho satisfatório sob condições de plantio direto em ampla faixa de densidade de resíduos sobre o solo. A profundidade de trabalho foi de 0,05m, conforme recomendação do fabricante.

Figura 12 - Disco de corte liso.



Desta forma, neste trabalho foram propostas duas abordagens englobando o disco de corte, compondo concepções e variando a distância dele para os ED. Com isso, foi possível análises diferentes composições com a presença e ausência do disco de corte e se a distância do disco para o ED influencia o desempenho das concepções estudadas.

Assim, com base em levantamentos feitos em feiras de máquinas agrícolas, observou-se que entre os modelos comerciais observados não há padrão de distância do disco de corte em relação à haste e, em determinados casos, nem mesmo entre as hastes de um mesmo implemento, havendo variação de 0,30m até 1,00m. Desta forma, e observando também as limitações dimensionais da estrutura porta-ferramentas (EPF), foi estabelecido a maior distância de 1,00m, como sendo a máxima regulagem aplicável à EPF, uma distância intermediária, neste caso 0,50m, e a menor que foi 0,01m.

Apesar de não serem encontrados estudos com este tipo de abordagem para escarificadores ou subsoladores, Santos et al. (2008) quando realizaram um estudo comparativo entre semeadoras com diferentes mecanismos sulcadores, disco de corte e haste sulcadora próximos (guilhotina), disco de corte e disco duplo defasado e disco de corte e haste sulcadora afastados, encontraram menor demanda energética quando o disco encontrava-se aproximado da haste, dando a entender que este tipo de regulagem pode estender-se a outros implementos onde há a associação de haste e disco de corte.

Rolo destorroador

O rolo destorroador foi construído reproduzindo modelos comerciais, entretanto com dimensões reduzidas para atender a demanda de apenas uma haste. Ele apresentou diâmetro de 0,30m, largura de 0,60m e 14 barras transversais e fixadas a aproximadamente 0,067m umas das outras. O rolo destorroador foi posicionado na parte posterior da ferramenta de mobilização do solo, conforme pode ser visualizado na figura 13. O rolo construído apresenta suspensão pivotada para que exerça pressão sobre o solo, reduzindo o tamanho dos torrões.

Figura 13 - Rolo destorroador.



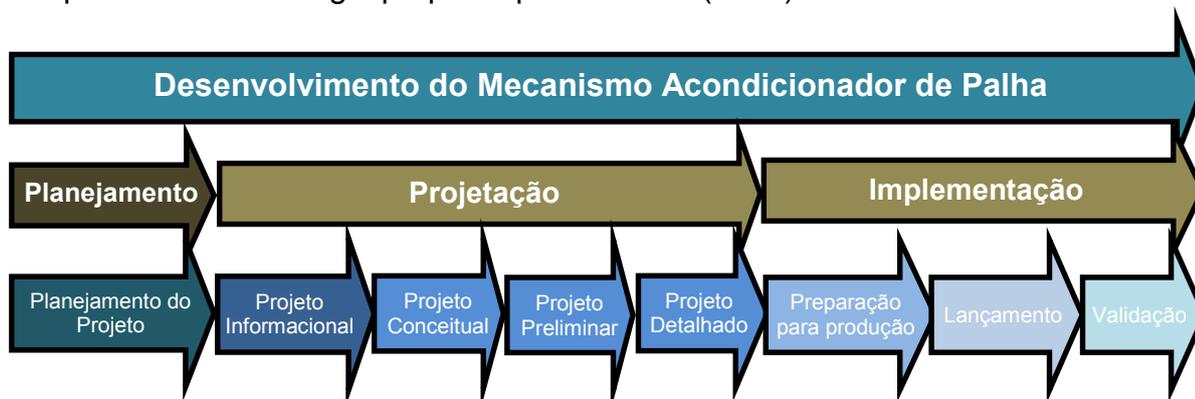
5.2 MÉTODOS

5.2.1 Metodologia de projeto do mecanismo acondicionador de palha

O projeto e desenvolvimento do mecanismo acondicionador de palha (MAP) associado as concepções já estabelecidas do mercado, foi estabelecido observando as metodologias de desenvolvimento de máquinas agrícolas (ROMANO, 2003) e com base na metodologia de projeto para a concepção de máquinas agrícolas seguras proposto por Alonço (2004). Com isso, estruturou-se o processo em fases para que o gerenciamento do projeto se estabelecesse de forma organizada, a evolução do desenvolvimento seja coerente e com redução de riscos.

O projeto foi compreendido do planejamento do produto até o projeto conceitual na etapa da avaliação da concepção, sendo que a sequência do processo de desenvolvimento do MAP é bem mais amplo e se estende pela macrofase de implementação e sua última fase validação, conforme pode ser observado na figura 14. Executou-se de forma completa apenas a macrofase de planejamento e parte da projeção, compostas pelas fases planejamento, projeto informacional e projeto conceitual, pois as demais extrapolam as possibilidades do trabalho desta tese, tendo em vista o período de tempo restrito e a ausência de apoio financeiro por parte de indústrias de máquinas agrícolas.

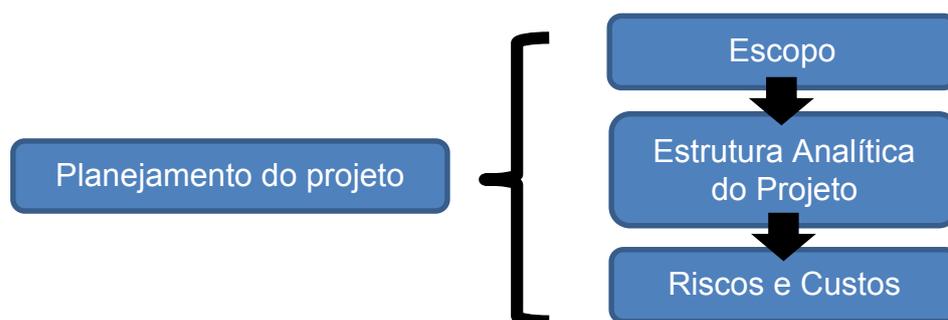
Figura 14 - Processo de desenvolvimento do mecanismo condicionador de palha adaptado da metodologia proposto por Romano (2003).



Planejamento do projeto

Dentro da macrofase Planejamento está contida a fase “Planejamento do Projeto”, que consiste no gerenciamento das tarefas de um novo produto frente às estratégias da empresa (ROMANO, 2003). Neste trabalho, considerou-se como o início da organização do trabalho para o desenvolvimento da Tese. O início do projeto deu-se com o gerenciamento das atividades a serem realizadas durante o período destinado ao doutoramento, conforme o fluxograma destacado na figura 15.

Figura 15 - Fluxograma da fase de Planejamento do Projeto.



O escopo do projeto contém a justificativa do desenvolvimento do produto, as suas restrições e características desejáveis. A Estrutura Analítica do Projeto (EAP) fraciona o projeto detalhando nas atividades que a serem realizadas de forma sequencial, havendo dependência do término de uma para o início da outra, de forma a definir um fluxo de trabalho até a finalização da análise das concepções. Os riscos e custos foram incluídos, pois, há dependência do ambiente e inexistência de parceria com empresas privadas e, também por isso, o projeto tem seu processo interrompido

ao final da avaliação das concepções. O encerramento desta macrofase denota o início da próxima, a projeção, que contém duas fases, projeto informacional e conceitual.

Projeto Informacional

O projeto informacional é a fase onde são definidas as especificações de projeto e as restrições de segurança (BAUMHARDT, 2012). Esta foi dividida em seis atividades sequenciais, ou seja, após o término de uma inicia-se a outra. Estas foram o ciclo de vida do produto, fatores de influência no projeto, necessidades dos clientes, requisitos dos clientes, requisitos de projeto e, por fim, as especificações do projeto. Cada uma destas está descrita na tabela 4.

Tabela 4 - Descrição das atividades do projeto informacional do MAP.

Atividade	Descrição
Ciclo de vida	Delimitação das fases componentes do ciclo de vida do produto
Fatores de influência	Informações pertinentes oriundas de pesquisas técnicas e normas de segurança.
Necessidades dos clientes	Identificar os desejos e demandas dos clientes potenciais do produto
Requisitos dos clientes	Transformação das necessidades dos clientes em linguagem técnica
Requisitos de projeto	Utilização das grandezas da engenharia para transformar os requisitos dos clientes em projeto
Especificações do projeto	Detalhamento dos requisitos de projeto atribuindo valores meta e incluindo os requisitos de segurança.

As primeiras etapas do processo de desenvolvimento do MAP foi a definição do ciclo de vida do produto. Este é composto pelas etapas que iniciaram nas fases de projeção até a finalização da vida útil do mesmo. Como o projeto do MAP é finalizado anteriormente ao término de todas as fases de projeção, o ciclo de vida do produto foi detalhado até a obsolescência do produto, contemplando as macrofases de planejamento, projeção e implementação. Conforme Menegatti (2004), o ciclo de vida de um produto é composto por projeto, fabricação, montagem, testes e ensaios, transporte e distribuição, comercialização, uso, manutenção, reaproveitamento ou descarte. Para cada fase do ciclo de vida de um produto, existem os usuários

respectivos, que conforme Romano (2003), podem ser internos, quando estão envolvidos na projeção e implementação, intermediários, responsáveis pela distribuição, marketing e pós-vendas, e externos, que comprarão e utilizarão o produto.

As informações originais foram levantadas por meio da observação de equipamentos em feiras de máquinas agrícolas, e valendo-se do uso dos implementos a ser melhorados pelo projeto do novo produto, onde cada informação original foi compreendida e refletida para ser transformada em uma ou mais necessidades dos clientes, de forma a compreender cada informação transformando-as em uma linguagem técnica. As informações originais geraram fatores de influência baseando-se nas metodologias propostas por Romano (2003), Marini (2007) e nos trabalhos realizados por Nietiedt et al. (2010), Bonotto et al. (2011) e Bellé et al. (2012).

A identificação dos fatores de influência foi estabelecida à luz da literatura, com base em normas de segurança, especificações físicas, análise de máquinas similares no mercado, características dinâmicas e econômicas. Esta reunião de informações importantes define as características requeridas do produto, os limites de atuação e a aplicabilidade do MAP.

A próxima etapa consistiu na representação das necessidades dos clientes em um ou mais requisitos dos clientes, conforme o desmembramento e identificação de diferentes pontos de vistas técnicos. Os requisitos dos clientes foram valorados mediante análise comparativa conforme o grau de importância, utilizando-se o diagrama de Mudge, confrontando um requisito com o outro e, assim, definindo quais as primeiras prioridades do projeto (ROMANO, 2003).

Para cada comparação entre requisitos, o superior mantém sua letra no quadrante e a importância em relação ao outro é estabelecida por meio de 3 níveis, onde muito mais importante recebe 5 pontos, medianamente mais importante, recebe 3 pontos, e pouco mais importante, 1 ponto. Assim, os valores dos números para cada requisito, representado por sua letra respectiva, são somados e ranqueados conforme o acúmulo de pontuação somada em cada linha, onde a ordem de importância é crescente, sendo a maior pontuação com maior importância.

Em sequência, os requisitos dos clientes foram transformados em requisitos de projeto, que são condições necessárias para a obtenção de um objeto, ou seja, são definidas as primeiras métricas do produto. Os requisitos de clientes são valorados e confrontados com os requisitos de projeto por meio de uma ferramenta de projeto

denominada matriz da casa da qualidade onde há o desdobramento da função qualidade (*Quality Function Deployment* - QFD), priorizando os requisitos de projeto mais importantes e focando os esforços da equipe de projeto nos pontos mais significativos para o cliente.

Na matriz QFD foram colocados os requisitos dos clientes em confronto com os requisitos de projeto aproveitando os valores obtidos no Diagrama de Mudge. A hierarquização foi estabelecida mediante a valoração dos requisitos e, esta, conforme a atribuição de níveis de pontuação de acordo com o grau de afinidade, dependência ou relacionamento do requisito de clientes com o requisito de projeto. Ou seja, se o relacionamento do requisito do cliente com o requisito do projeto é forte dá-se 5 pontos, se o relacionamento é médio dá-se 3 pontos, se o relacionamento é fraco dá-se 1 ponto, e se há ausência de relacionamento não há pontuação. Essas pontuações, por sua vez, foram multiplicadas pelos valores de importância obtidos do Diagrama de Mudge e, assim, deram origem aos valores dentro das colunas de parênteses e, estes, quando somados dentro de cada coluna, representam a pontuação para hierarquização dos requisitos de projeto.

Após isso, foram observados os princípios de solução adotados pelos fabricantes de subsoladores e escarificadores e comparados com os requisitos de projetos do novo produto, verificando se todos esses requisitos dos clientes e do projeto já são atendidos ou não, destacando as lacunas a serem atendidas de forma inovadora pelo MAP.

Por fim, cada requisito de projeto correspondeu a um valor meta e um descrição da avaliação, definindo as características que o novo produto deverá atender, que são as especificações de projeto. Nesta última etapa do projeto informacional também são identificados os aspectos indesejados de cada requisito e identificadas as normas técnicas que se relacionam com o novo produto.

Projeto conceitual

O projeto conceitual busca a transformação das especificações de projeto em soluções físicas e, para isso, esta etapa foi fracionada em cinco atividades necessárias à sua composição, sendo a estrutura funcional e função global, princípios de solução, desenvolvimento do princípio de solução, ensaio das concepções e análise dos resultados.

A função global deve identificar o que é absolutamente necessário que seja executado pelo MAP. Nesta etapa, destaca-se, necessariamente, a priorização da função principal do MAP e, posteriormente, as demais funções parciais, auxiliares e elementares. Neste caso, os principais requisitos de projeto são observados para a definição destas funções e subfunções, de forma a definir a estrutura funcional do MAB que melhor representa o que é buscado pelos clientes e com custo compatível utilizando-se, para isso, critérios técnicos.

A partir disso, e da escolha do princípio de solução pela equipe de projeto com base em critérios técnicos, são buscadas soluções da engenharia existentes para atender o desejado. Estas são estudadas e analisadas pela equipe de projeto propondo-se englobar, dentro delas, as que contemplem todas as demandas dos clientes e para cada função e subfunção. Ou seja, cada uma delas apresentará distintas soluções de engenharia que apresentem melhor desempenho técnico-econômico, mediante pesquisas bibliográficas e análises de sistemas técnicos existentes do mercado.

5.2.2 Experimento de avaliação das concepções

O experimento de avaliação das concepções, onde há a presença de algumas do princípio de solução do MAP, foi realizado para que fosse possível a combinação com outros princípios de solução, propondo variações com disco de corte e suas regulagens, diferentes ED e presença de rolo destorroador, a fim de encontrar uma concepção que melhor atende aos requisitos de desempenho energético e interação com o solo e a palha. Com isso, foi utilizada análise estatística, estruturação de um experimento e acoplamento em uma mesma base (EPF) para que interferências da área ou ambientais pudessem ser eliminadas das comparações entre as concepções.

A descrição do experimento para a comparação entre diferentes concepções pode ser observada na tabela 5.

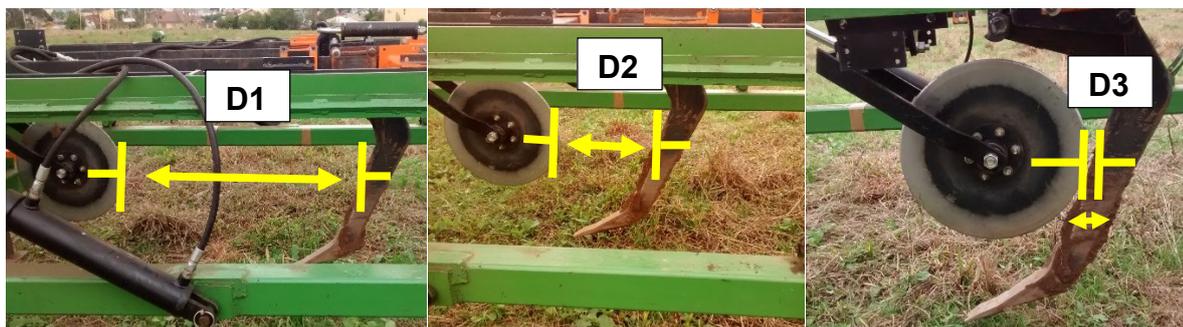
Tabela 5 - Descrição da composição dos tratamentos resultantes da combinação de fatores e seus níveis.

Elemento Descompactador (Parcela)	Acondicionamento de Palha (AP) (Sub-parcela)	Distância do Disco para o ED (D) (Sub-subparcela)	Tratamentos
Elemento Descompactador Reto Inclinado	SR / SMAP	SD – Sem disco	T1
		D1 – 1,00m	T2
		D2 – 0,50m	T3
		D3 – 0,01m	T4
	CR / SMAP	SD – Sem disco	T5
		D1 – 1,00m	T6
		D2 – 0,50m	T7
		D3 – 0,01m	T8
Elemento Descompactador Parabólico	CR / CMAP	SD – Sem disco	T9
		D1 – 1,00m	T10
		D2 – 0,50m	T11
		D3 – 0,01m	T12
	SR / SMAP	SD – Sem disco	T13
		D1 – 1,00m	T14
		D2 – 0,50m	T15
		D3 – 0,01m	T16
CR / SMAP	SD – Sem disco	T17	
	D1 – 1,00m	T18	
	D2 – 0,50m	T19	
	D3 – 0,01m	T20	
CR / CMAP	SD – Sem disco	T21	
	D1 – 1,00m	T22	
	D2 – 0,50m	T23	
	D3 – 0,01m	T24	

ED – Elemento descompactador; AP – Acondicionamento de palha; SR – Sem rolo destorroador; CR – Com rolo destorroador; SMAP – Sem mecanismo acondicionador de palha; CMAP – Com mecanismo acondicionador de palha.

Os níveis do primeiro fator de estudo foram compostos por dois diferentes elementos descompactadores, sendo estes os elementos descompactadores reto inclinado e parabólico. O segundo fator foi chamado de acondicionamento de palha (AP), formado por 3 níveis, onde estes foram: sem rolo destorroador e sem mecanismo acondicionador de palha (SR/SMAP), com rolo destorroador e sem mecanismo acondicionador de palha (CR/SMAP) e com rolo destorroador e com mecanismo acondicionador de palha (CR/CMAP). O terceiro e último fator foi denominado distância do disco para o ED, constituído por 4 níveis, sendo estes 1,00m (D1), 0,50m (D2), 0,01m (D3), descritos na figura 16, e uma condição sem disco de corte.

Figura 16 – Posições do disco de corte e relação ao elemento descompactadores.



A determinação das distâncias entre o disco de corte e os ED foi estabelecida como o distanciamento entre as faces de corte do disco e dos ED, sendo estas aferidas da parte central do disco até a parte central da haste.

A combinação entre os fatores propicia a proposição de estudo com 6 concepções diferentes de princípios de solução, conforme pode ser observado na tabela 6. Ainda cada concepção apresentou variação da distância do disco em relação ao ED.

Tabela 6 - Combinações das ferramentas para formação das diferentes concepções.

Concepções	Disco de corte	Rolo destorroador	MAP
1	Ausente	Ausente	Ausente
2	Presente	Ausente	Ausente
3	Ausente	Presente	Ausente
4	Presente	Presente	Ausente
5	Ausente	Presente	Presente
6	Presente	Presente	Presente

O primeiro arranjo propõe o estudo da concepção de escarificador ou subsolador na sua versão mais tradicional, onde não há presença de disco de corte e rolo destorroador. No segundo arranjo há a presença do disco de corte sem a presença do rolo destorroador. O terceiro arranjo é composto pela presença de rolo destorroador sem o disco de corte. O quarto arranjo contempla a presença do disco de corte e do rolo destorroador. O quinto já apresenta o MAP com a presença de rolo destorroador e sem a presença de disco de corte. O sexto e último arranjo, contempla as três ferramentas, e se apresenta como a concepção mais inovadora, com a

presença do disco de corte, rolo destorroador e MAP. Além disso, foi possível analisar a influência de todas as distâncias do disco para o ED em todas as concepções.

O delineamento experimental foi o Blocos Casualizados (DBA) com parcelas sub-subdivididas em um arranjo fatorial 2x3x4 composto por 24 tratamentos e 3 repetições por tratamento, correspondendo a 72 unidades experimentais. As parcelas foram ocupadas pelo fator elementos descompactadores, as sub-parcelas pelo acondicionamento de palha e a sub-subparcela foi ocupada pelas distâncias (FIGURA 17). Os dados coletados foram submetidos a análise ANOVA e ao teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro. Foi realizado o teste de Cochran de homogeneidade de variâncias e o teste de Kolmogorov-Smirnov para observância da normalidade dos dados, ambos através do emprego do programa Assistat, versão 7.6 (SILVA E AZEVEDO, 2002).

Figura 17 - Croqui do experimento.



5.2.3 Velocidade real de deslocamento e patinamento

A velocidade de deslocamento foi determinada observando-se o diagrama de velocidades do trator e mediante testes preliminares em campo. Com isso, selecionou-se a 2ª marcha que proporcionou a velocidade de deslocamento média com carga foi de $5,5 \text{ km h}^{-1}$ ($1,53 \text{ m s}^{-1}$) a 2.300 rpm , estando entre os limites de velocidade propostos por Mialhe (1996) para implementos de preparo de solo, $3,5$ ($0,97 \text{ m s}^{-1}$) a $8,5 \text{ km/h}$ ($2,36 \text{ m s}^{-1}$).

A determinação do patinamento consiste na relação entre duas variáveis, velocidade da roda odométrica (velocidade real) e velocidade da roda motriz. Estas

foram armazenadas na forma de frequência pelo *datalogger*, pois o sensor de proximidade indutivo utilizado emite pulsos elétricos de acordo com a passagem dos dentes da engrenagem, indicando a frequência da rotação. Ou seja, a roda gira e as engrenagens, que estão unidas por um suporte ao rodado, também giram e o sensor indutivo emite pulsos elétricos, que em maior rotação da roda têm intervalo entre pulsos menores, propiciando maior frequência. Para a conversão para velocidade, multiplica-se a frequência (Freq) pelo perímetro da roda (Per) e divide-se pelo número de dentes da engrenagem (n), conforme a equação 2.

$$V = \left(\frac{\text{Freq} \times \text{Per} \times 3,6}{n} \right) \quad (2)$$

O perímetro da roda foi determinado conforme metodologia utilizada por Maziero et al. (1997) e proposta pela American Society of Agricultural Engineers (1987), que preconizam a determinação do perímetro eficaz. Esse consiste no perímetro de uma roda equivalente à distância por ela percorrida em uma volta completa, com patinagem presumível igual a zero, em superfície de concreto. A roda odométrica e o rodado motriz tiveram suas circunferências medidas em superfície de concreto e sem exercer força de tração na barra.

Com as duas velocidades (roda odométrica e roda motriz) de cada tratamento, procede-se o cálculo do patinamento, segundo metodologia desenvolvida por Gabriel Filho et al. (2004). A patinagem (P) foi obtida através da equação 3.

$$P = \left[1 - \left(\frac{V_{ro}}{V_{rm}} \right) \right] \times 100 \quad (3)$$

Onde:

V_{ro} = velocidade média obtida pela roda odométrica (km h^{-1});

V_{rm} = velocidade média da roda motriz (km h^{-1});

5.2.4 Força e potência média na barra de tração

A variável força de tração foi obtida através de uma célula de carga acoplada entre a barra de tração do trator e o cabeçalho da EPF. Os dados de força na barra de tração (FBT) inicialmente coletados expressam o esforço necessário para tracionar a EPF com as ferramentas estudadas em ação, porém estes dados não são representativos somente da demanda das ferramentas, deve ser subtraída a resistência ao rolamento, que é a força de tração necessária para tracionar a EPF sem os mecanismos acoplados e foi determinada mediante coleta de três repetições, onde o trator com a EPF acoplada percorreu 20 m em cada repetição sem a presença dos mecanismos acoplados. A força média na barra de tração foi determinada conforme equação 4.

$$FMBT = FBT - R_{rol} \quad (4)$$

A potência média na barra de tração (PMBT) foi obtida indiretamente, através da relação entre a força de tração média e a velocidade de deslocamento, de acordo com a equação 5.

$$PMBT = \frac{FMBT \times V}{3,6} \quad (5)$$

Onde:

PMBT – Potência na barra de tração (kW);

FMBT – Força média na barra de tração (N);

V – Velocidade real de deslocamento (km h⁻¹);

5.2.5 Área elevada, mobilizada e empolamento do solo

A determinação das variáveis resultantes da interferência das ferramentas estudadas sobre o solo, deu-se utilizando um perfilômetro de hastes (FIGURA 18) construído por Gassen (2011), para demarcação do relevo original, perfil empolado e perfil basal, sendo este equipamento constituído de quinze hastes tubulares de

alumínio espaçadas em 0,04m entre si, abrangendo uma largura e profundidade máximas de leitura de 0,60m e 0,35m, respectivamente. Acoplado ao fundo do perfilômetro, há uma placa de madeira removível que serve como apoio para fixação de uma folha milimetrada, onde foram marcadas as leituras. Para a efetivação das demarcações nas extremidades das hastes, o equipamento é nivelado através de um nível de bolha, comumente utilizado na construção civil.

Figura 18 - Perfilômetro de hastes.

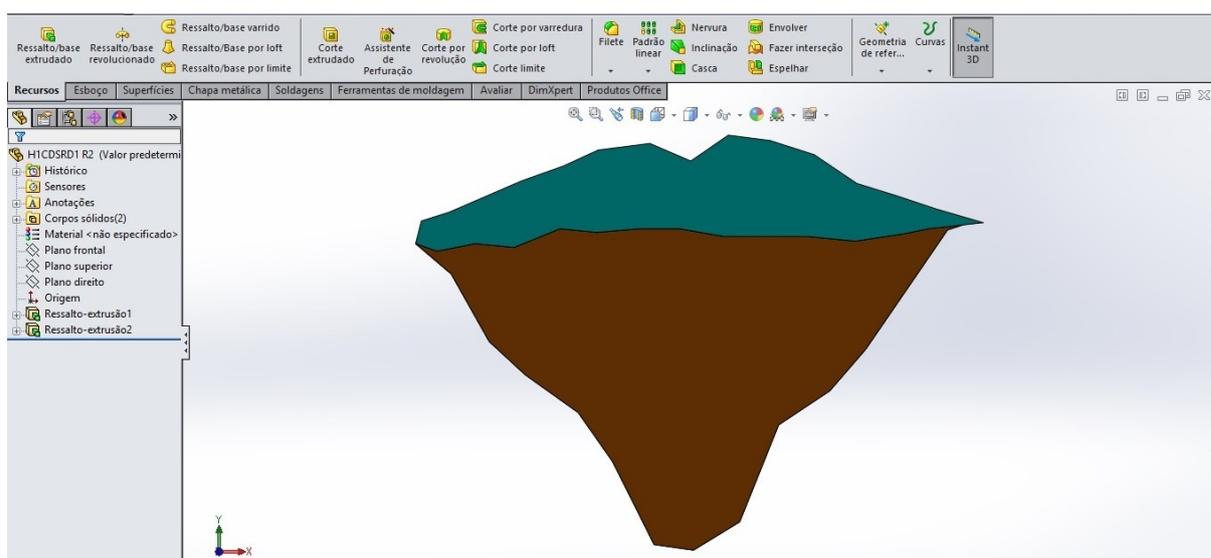


Para a obtenção das variáveis para o cálculo da área elevada e mobilizada do solo, foram desempenhadas, em um mesmo local demarcado e para cada repetição dos tratamentos, três atividades. Primeiramente, foi fixada no perfilômetro uma folha milimetrada de tamanho A2, previamente identificada, e foram marcados, com o auxílio de um pincel marcador, os pontos correspondentes à altura de cada haste do perfilômetro, conforme a rugosidade superficial do terreno. Após a passagem das ferramentas estudadas, o mesmo processo foi efetuado novamente com um pincel de coloração diferente do primeiro, para aferir o perfil empolado. Por último, após a remoção manual do solo mobilizado, tomando cuidado para não descaracterizar o efeito do mecanismo, foi realizada a marcação na mesma folha com um pincel de coloração diferente dos dois primeiros, para aferir o perfil basal. Assim, para cada demarcação na folha milimetrada usou-se uma coloração diferenciada.

A realização do cálculo da área de elevação do solo e área de solo mobilizado, deu-se pelo registro de imagem através de fotografia de cada folha milimetrada, com

o auxílio de uma câmera digital. As fotos digitalizadas foram plotadas no software SolidWorks®, onde as áreas das seções foram conhecidas mediante a interpolação dos pontos marcados com os pincéis, conforme pode ser observado na figura 19. Foi demarcada em verde a área de elevação do solo e a área de solo mobilizada em marrom para cada repetição dos tratamentos do experimento.

Figura 19 – Exemplo de avaliação da área elevada e mobilizada do solo.



De posse das variáveis área elevada e mobilizada do solo, procedeu-se o cálculo do empolamento do solo seguindo a metodologia sugerida por Carvalho Filho et al. (2007), que é a relação entre as variáveis anteriores e representa o percentual de aumento no volume do solo por meio da interferência das ferramentas de mobilização do solo (BRANDELERO, et al., 2014), conforme equação 6.

$$EMP = \left(\frac{Ae}{Am} \right) \times 100 \quad (6)$$

Emp - empolamento do solo (%);

Ae - área de elevação (m²);

Am - área mobilizada (m²).

5.2.6 Consumo horário de combustível

O consumo de combustível foi determinado a partir do uso de um fluxômetro, equipamento este detalhado no item 5.1.3. Sabendo-se que cada pulso emitido pelo fluxômetro equivale a 1ml de combustível enviado para combustão e a taxa de aquisição é 1 pulso a cada 2 segundos, tem-se estabelecido uma leitura de 1ml a cada 2 segundos, ou 30ml a cada 60 segundos ou, ainda, 1.800ml por hora (1,8 litros por hora). Sendo assim, um pulso emitido pelo fluxômetro equivale a 1,8 litros de combustível por hora trabalhada. Para o conhecimento do consumo de combustível de determinada situação, multiplica-se o número de pulsos por 1,8, conforme equação 7.

$$Ch = Pul \times 1,8 \quad (7)$$

5.2.7 Consumo específico de combustível

O consumo específico de combustível é a relação da energia consumida (combustível) por unidade de potência e foi obtido indiretamente, fazendo-se a relação entre o consumo horário de combustível e a PMBT, conforme equação 8.

$$Ce = \frac{Ch}{PMBT} \quad (8)$$

Ce – consumo específico de combustível (l kW⁻¹h⁻¹);

Ch – consumo horário de combustível (l h⁻¹);

PMBT – potência média na barra de tração (kW);

5.2.8 Consumo específico operacional

O consumo específico operacional (CeO) é a relação do consumo específico de combustível com a área de solo mobilizado, ou seja, para a sua construção é necessário o consumo horário de combustível, área de solo mobilizada e a PMBT.

Esse dado foi obtido utilizando metodologia proposta por Gamero e Lanças (1996), através da equação 9.

$$CeO = \frac{Ce}{Am} \quad (9)$$

CeO – consumo específico operacional (l kW h m⁻²);

Ce – consumo específico de combustível (l kW h⁻¹);

Am – área de solo mobilizado (m²);

5.2.9 Resistência específica operacional (kN m⁻²)

A resistência específica operacional é uma das principais variáveis de estudo. Sua obtenção é oriunda da relação entre os dois principais quesitos atribuídos às ferramentas de mobilização de solo, a FMBT e a área de solo mobilizado. A equação 10 exemplifica as variáveis envolvidas no cálculo da ReO.

$$ReO = \frac{FMBT}{Am} \quad (10)$$

ReO - resistência específica operacional (kN m⁻²);

FMBT - força média na barra de tração média (kN);

Am – área de solo mobilizado (m²).

5.2.10 Índice de permanência de palha no solo

O índice de permanência de palha no solo (IPS) é variável importante para determinar o quanto de material vegetal presente em uma área conhecida se mantém em superfície após o trabalho de uma ferramenta de mobilização do solo. Neste trabalho, essa variável foi obtida pelo método de análise de imagem, adaptado ao utilizado por Arvidsson e Hillerström (2010). O método consistiu no posicionamento de um quadrado metálico de 0,5m² na linha de preparo para ser fotografada a sua área interna com o auxílio de uma câmera digital e um tripé, conforme pode ser observado na figura 20. Neste, a câmera fica posicionada de forma centralizada em

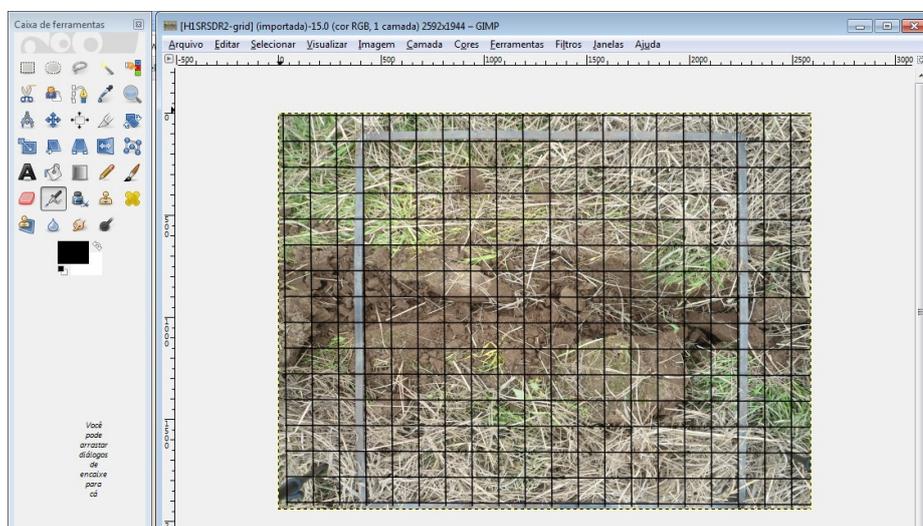
relação ao quadrado metálico e a uma distância padrão em relação ao nível do solo. Liu et al. (2007), também utilizaram fotografias de uma área quadrada padrão para determinação de incorporação de palha em operação de preparo do solo.

Figura 20 – Coleta de imagem para a determinação do índice de permanência de palha sobre o solo.



Após a captura das imagens, as mesmas foram inseridas em um programa editor de imagem, GIMP 2.8[®]. Com este programa foram sobrepostos nas imagens grades (grids) formados por 196 células quadradas com aproximadamente 0,05m de lado cada, conforme pode ser observado na figura 21.

Figura 21 - Exemplo de edição de uma imagem.



A área do quadrado fotografado é formada por arestas de 0,708m e o tamanho de cada célula foi estabelecido em 0,05m, com isso, a divisão totalizou 196 células de aproximadamente 0,0025m² cada. O tamanho da célula foi estabelecido como sendo a metade da distância entre pontos do método da trena marcada desenvolvido por Laflen et al. (1981) e utilizado para estas determinações em área total. Para o estabelecimento de um percentual de cobertura vegetal remanescente, adaptou-se a metodologia de Cortez et al. (2007) utilizada em semeadura direta. Para isso, foram contabilizadas nas imagens as células com presença de palha após a aplicação do tratamento e efetuado o percentual dentro da amostra total de 196 células, conforme equação 11.

$$IPS = \left(\frac{CC}{CT} \right) \times 100 \quad (11)$$

Onde:

IPS – Índice de permanência de palha sobre o solo (%);

CC – Número de células com cobertura;

CT – Número de células totais;

5.2.11 Índice de força

O índice de força (IF) é definido como a relação entre a resistência específica operacional (ReO) e o índice de cone médio (ICm) de uma faixa de profundidade de operação (CHANG et al., 1994). Este índice, obtido pela média das leituras efetuadas, permite analisar a influência da compactação do solo e, da resistência do solo ao cisalhamento, sobre as ferramentas de mobilização de solos ensaiadas. A determinação do IF estabeleceu-se conforme a equação 12.

$$IF = \frac{ReO}{ICm} \quad (12)$$

Onde:

IF – Índice de força (adimensional);

ReO – Resistência específica operacional (kN m⁻²);

ICm – Índice de cone médio da profundidade 0,20-0,30m (kPa).

5.2.12 Avaliação complementar de desempenho

A avaliação complementar de desempenho foi determinada pelo método da observação direta intensiva foi utilizado para a visualização e registro de informações qualitativas não delimitadas pelo experimento e suas variáveis. Desta forma, houve o destaque de fenômenos ocorridos e relatados pelo gerente de projeto e pela equipe de projeto, aplicáveis para cada uma das concepções propostas, conforme observação sistemática, participante e em equipe, de acordo com Marconi e Lakatos (2007) e Marconi e Lakatos (2009).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir estão apresentados o processo de desenvolvimento do MAP desde o planejamento até a avaliação das concepções oriundas das combinações com outros princípios de solução. Além disso, estão dispostas as análises das variáveis relativas ao desempenho energético das concepções e regulagens, assim como a interação destas com o solo e a palha.

A tabela com a análise completa de todas variáveis está no anexo 1. Os dados analisados apresentaram-se homogêneas e os erros tiveram distribuição normais.

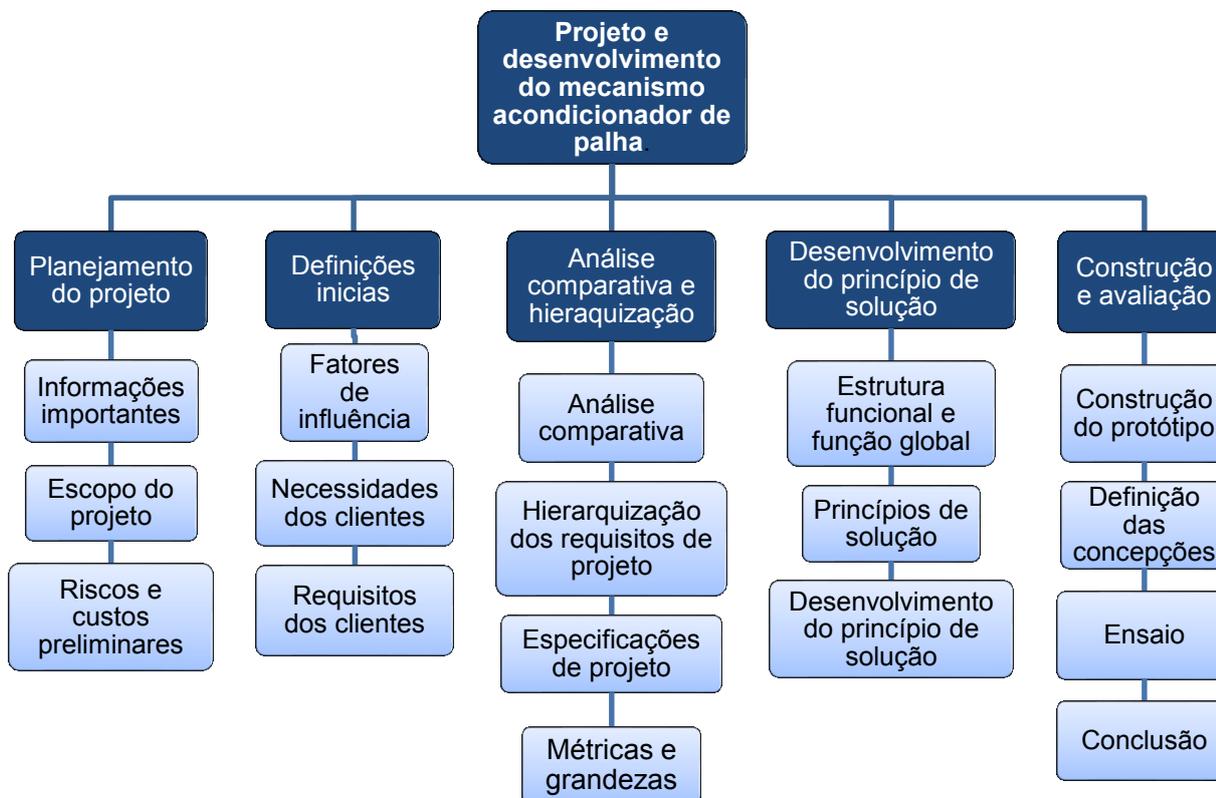
6.1. PROJETO E DESENVOLVIMENTO DO MECANISMO ACONDICIONADOR DE PALHA

6.1.1 Planejamento do projeto

A fase de planejamento foi dividida em escopo, estrutura analítica do projeto, riscos e custos. O escopo do projeto foi o desenvolvimento de uma ferramenta que quando combinada com hastes de subsoladores ou escarificadores pudesse ser utilizada em áreas de plantio direto compactado possibilitando o preparo com mínima incorporação da palha presente na superfície, pois os implementos hoje presentes no mercado movimentam a cobertura vegetal superficial em demasia, fragilizando o seu efeito protetor sobre o solo. Os limites do projeto foram a necessidade de haver um mecanismo individualizado para cada ferramenta de mobilização do solo e que, a sua adição, não comprometesse o desempenho operacional do conjunto independentemente da profundidade de trabalho e espaçamento entre hastes do implemento.

A Estrutura Analítica do Projeto (EAP) foi composta por cinco etapas principais e distribuídas ao longo do processo de desenvolvimento, conforme a figura 22.

Figura 22 - Estrutura Analítica do Projeto e Desenvolvimento do MAP.



Na EAP foram estabelecidas as principais tarefas e as atividades contempladas dentro de cada tarefa, definindo assim, o fluxo de trabalho planejado até o final do desenvolvimento proposto. Além disso, dentro de cada atividade estão compreendidos os processos importantes e que obedecem ao fluxo do projeto.

As informações importantes destacadas e delimitadas no trabalho e descritas foram as seguintes:

- A palha é movimentada e incorporada em demasia durante as operações de escarificação e subsoladores;
- Ocorre formação de torrões com tamanho elevado pela elevação vertical do solo durante o preparo e, com isso, eleva-se a rugosidade superfície do solo de forma excessiva, dificultando operações de semeadura posteriores;
- O solo é mobilizado verticalmente e lateralmente e promove a exposição excessiva do solo na linha de preparo aumentando o risco de erosão;
- Baixa demanda de potência e combustível necessária para não incrementar demasiadamente o custo das operações de descompactação mecânica do solo;

- O espaçamento entre hastes e a profundidade são variáveis e necessitam observação para que as regulagens possam ser alteradas;
- Pode haver a presença de ferramenta de corte de palha e nivelamento do solo que favorecem a qualidade da operação e, por isso, o espaço para a adição de outras ferramentas deve ser restrito e não impeditivo aos seus funcionamentos;
- Existe contato direto do operador com as partes móveis do implemento e a existência de arestas, cantos vivos, projeção de material e os locais de riscos devem ser resguardados do contato do operador durante a regulagem, reduzindo o risco de acidentes;
- O implemento por vezes fica no sol e na chuva e deve ser apresentar forma construtiva simplificada e com materiais resistentes às intempéries;
- Custo baixo para facilitar o aporte de recurso por parte das indústrias de máquinas e a aquisição dos agricultores;
- Manutenção facilitada e de baixo custo para aumentar a vida útil do produto, com custo e amortização do investimento reduzido;

Os riscos identificados no projeto foram a instabilidade econômica do país e a redução de aporte financeiro para os projetos de pesquisa, a instabilidade climática que reduz a possibilidade de testes em campo para a aprovação da concepção e, principalmente, para a avaliação definitiva do produto mediante a aplicação dos tratamentos do experimento. Outro risco observado foi a possibilidade das ferramentas interferirem no desempenho do conjunto e inexistência de uma empresa parceira para o compartilhamento dos custos do projeto. Por isso, os custos foram reduzidos com a construção do protótipo utilizando materiais de reaproveitamento de sucata e produção própria de peças e subsistemas. Desta forma, o custo preliminar estimado do produto esteve próximo de R\$300,00, necessário para a aquisição de componentes, como parafusos, porcas e arruelas, metal (cantoneiras, tubos com perfil cilíndrico e quadrado), eletrodo revestido e combustível.

6.1.2 Projeto informacional

O ciclo de vida do MAP é uma etapa importante e segundo Alonço (2004), ele serve para o registro das necessidades dos vários clientes envolvidos no desenvolvimento de um produto, sistematizados em fases, clientes e usuários e

objetivos. Na tabela 7 estão descritas as fases do ciclo de vida do MAP, os clientes envolvidos e os objetivos de cada fase.

Tabela 7 - Ciclo de vida do MAP.

Fases do ciclo de vida	Clientes e usuários	Objetivos
Projeto do produto	Equipe de projeto	Desenvolver um produto observando cada fase do processo de forma que as necessidades dos clientes estejam contempladas para que o desempenho do MAP seja máximo sem oferecer riscos de acidentes aos usuários;
Fabricação e montagem	Equipe de projeto	Produzir uma ferramenta que apresente baixo custo, simplicidade de fabricação e com baixo risco de acidente durante o processo fabril;
Operação	Equipe de projeto	Atenda aos requisitos de desempenho sem expor à riscos o operador;
Testes e ensaios	Equipe de projeto e pesquisadores do Laserg	Apresente resultados superiores a soluções estabelecidas no mercado através de um experimento científico;
Manutenção	Pesquisadores do Laserg	Seja simplificada e de baixo custo sem oferecer riscos aos mantenedores;

Os fatores de influência foram delimitados em categorias, classes, propriedades, informação e descrição, conforme está destacado na tabela 8.

Tabela 8 - Fatores de influência do MAP.

Cat.*	Classe	Propriedade	Informação	Descrição
1	A12 - Interferências	A121 - Incorporação da palha	Reduzida movimentação e incorporação da palha	Os implementos presentes no mercado movimentam excessivamente a palha na superfície e, por isso, ocorre a sua incorporação.
1	A12 - Interferências	A122 - Elevação do solo	Superfície do solo homogênea	A formação de um relevo superficial desuniforme após a operação prejudica a operação de semeadura posteriormente.

2	A21 - Adequação ao processo	A211 - Mobilização de solo	Mobilização do solo pelas hastes	A mobilização do solo não deve ser influenciada significativamente.
2	A21 - Adequação ao processo	A212 - Demanda energética	Consumo de combustível e demanda de tração	A demanda energética deve estar dentro dos padrões para as operações convencionais.
4	A41 – Dimensões	A411 - Distância transversal e altura	Deslocamento lateral e aprofundamento variável	Os implementos descompactadores apresentam regulagens distintas e o mecanismo precisa se adequar a elas.
4	A41 – Dimensões	A412 - Distância longitudinal	Deslocamento longitudinal	Os implementos podem apresentar disco de corte e rolo destorroador e o mecanismo deve operar sem interferência.
3	A31 - Adequação à segurança	A311 - Segurança do operador	Norma regulamentadora 31 e decreto 1255	A máquina não pode oferecer riscos de acidente ao operador.
4	A42 - Especificações	A421 - Resistência dos materiais	Especificação dos materiais	Devido a utilização da máquina em diferentes condições, os materiais devem ser resistentes as intempéries climáticas.
2	A22 – Aquisição	A221 - Custo de aquisição	Custo de aquisição	O mecanismo deve ter custo de aquisição baixo.
2	A23 - Manutenção	A231 - Manutenção reduzida	Frequência e facilidade de manutenção	A manutenção deve ser de baixa frequência e de fácil realização.

*Categorias: 1 – Escopo do projeto; 2 – Avaliação comparativa; 3 – Homologação; 4 – Ambiente operacional.

Os fatores de influência foram decompostos em categorias, classes, propriedades, informação e descrição (MARINI, 2007). Com base nisso, pode se observar que alguns fatores de influência apresentaram-se inovadores, propondo métricas e características ao projeto do MAP ainda não encontrada em máquinas e implementos agrícolas comerciais, agregando inovação do projeto.

Assim, foram definidas as necessidades e, delas, determinados os requisitos dos clientes e requisitos de projeto, suas métricas e as respectivas unidades de medida, conforme pode ser observada a tabela 9.

Tabela 9 - Necessidades dos clientes, requisitos de clientes, requisitos de projetos, suas métricas e unidades respectivas de medidas.

	Necessidades dos clientes/ciclo de vida	Requisitos dos Clientes	Requisitos de Projeto	Métrica	Unidade Medida
1	Não deve haver movimentação e incorporação da palha (Operação)	Ter movimentação e incorporação da palha reduzida	Preensão da palha	Índice de permanência de palha sobre o solo	%
2	Os torrões formados devem ter tamanho reduzido para reduzir a rugosidade superficial (Operação)	Manter a superfície do terreno homogênea	Homogeneizar a superfície	Área de elevação do solo	cm ²
3	O perfil de mobilização do solo não deve ser alterado (Operação)	Manter o perfil de mobilização do solo	Manutenção da mobilização de solo	Área de solo mobilizado	cm ²
4	A demanda de potência e combustível não deve ser elevada (Testes e ensaios)	Ter baixos consumo e demanda de potência	Demandar pouca potência e combustível	Consumo horário de combustível e potência média na barra de tração	l h ⁻¹ e kW
5	Deve operar em diferentes espaçamentos e profundidades de trabalho (Projeto)	Ter aplicação independentemente do espaçamento e profundidade	Aplicação independentemente do espaçamento e profundidade	Distância	cm
6	A palha pode ser cortada previamente e o solo nivelado posteriormente (Projeto)	Poder atuar em conjunto com ferramenta de corte de palha e rolo destorroador	Permitir operação do disco de corte e rolo destorroador	Distância	cm

7	Não deve haver superfícies cortantes, cantos vivos e contato com partes móveis (Fabricação e montagem)	Ter cantos arredondados e superfícies lisas	Baixo risco de acidente	Ocorrências de locais de risco	Presença/ausência
8	O mecanismo deve ser resistente à intempéries (Manutenção)	Ser de material resistente às intempéries	Resistência dos materiais	Durabilidade	Horas
9	O custo de aquisição deve ser baixo (Projeto)	Ter baixo custo de aquisição	Custo de aquisição	Custo	R\$
10	A manutenção deve ser fácil e pouco frequente (Manutenção)	Ter manutenção pouco frequente e fácil	Manutenção fácil e pouco frequente	Frequência	Ocorrência/tempo

As necessidades dos clientes apresentaram inter-relacionadas com o ciclo de vida do produto de forma que todos os clientes do produto possuíssem suas considerações. Essas constatações são reforçadas pela similaridade das observações realizadas por Reis e Forcellini (2006), que aplicaram metodologia de projeto similar para identificar os requisitos de projeto de uma bancada de testes de dosadores de precisão para sementes miúdas, e constataram que a conexão do ciclo de vida do produto com os clientes dentro de cada fase foi fundamental para que os requisitos de clientes com menos ênfase, como por exemplo os relacionados a manutenção, fossem considerados no projeto do produto.

Após as definições dos requisitos dos clientes, estes foram confrontados para a análise comparativa entre eles, utilizando, para isso, o diagrama de Mudge, conforme pode ser observado na figura 23.

Figura 23 - Diagrama de Mudge e o confronto comparativo entre os requisitos dos clientes.

Requisitos dos clientes		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Soma	%	Importância
A	Ter movimentação e incorporação da palha reduzidas		A5	A5	A1	A5	A5	A5	A5	A5	A5	41	24,0	1
B	Manter a superfície do terreno homogênea			C5	D1	E3	F3	B5	B5	B3	B3	16	9,4	6
C	Manter o perfil de mobilização do solo				C1	C5	C5	C5	C5	C3	C5	34	19,9	2
D	Ter baixos consumo e demanda de potência					E3	D3	D5	D5	D3	D5	22	12,9	4
E	Ter aplicação independentemente do espaçamento e profundidade						E3	E5	E5	E1	E3	23	13,5	3
F	Poder atuar em conjunto com ferramenta de corte de palha e rolo destorroador							F3	F3	I3	F1	10	5,8	7
G	Ter cantos arredondados e superfícies lisas								G1	I5	J3	1	0,6	9
H	Ser de material resistente às intempéries									I5	J3	0	0,0	10
I	Ter baixo custo de aquisição										I5	18	10,5	5
J	Ter manutenção pouco frequente e fácil											6	3,5	8

Muito mais importante – 5 pontos; Medianamente mais importante – 3 pontos; Pouco mais importante – 1 ponto. Cada letra representa um requisito de cliente, as mesmas letras das colunas referem-se aos requisitos de clientes das linhas.

O Diagrama de Mudge realizou o confronto comparativo entre os requisitos dos clientes, de forma que cada uma pode ser comparado com o outro a fim de observar qual apresenta maior grau de relevância. Com isso, observou-se que os três requisitos de clientes com maior grau de importância foram: ter movimentação e incorporação da palha reduzidas (A) manter o perfil de mobilização do solo (C), ter aplicação independentemente do espaçamento e profundidade (E).

Os requisitos de projeto por sua vez foram hierarquizados mediante aplicação da ferramenta de projeto QFD, conforme figura 24.

Figura 24 - Hierarquização dos requisitos de projeto por meio do QFD (*Quality Function Deployment*).

Requisitos dos clientes	Requisitos de projeto										
	Pontuação Mudge	Prensão da palha	Homogeneizar a superfície	Manutenção da mobilização de solo	Demandar pouca potência e combustível	Aplicação independentemente do espaçamento e profundidade	Permitir operação do disco de corte e rolo destorroador	Baixo risco de acidente	Resistência dos materiais	Custo de aquisição	Manutenção fácil e pouco frequente
Ter movimentação e incorporação da palha reduzida	41	5 (205)	5 (205)	1 (41)	1 (41)	3 (123)	5 (205)	0	0	0	0
Manter a superfície do terreno homogênea	16	5 (80)	5 (80)	0	0	0	5 (80)	0	0	0	0
Manter o perfil de mobilização do solo	34	1 (34)	1 (34)	5 (170)	3 (102)	3 (102)	1 (34)	0	0	0	0
Ter baixos consumo e demanda de potência	22	3 (66)	1 (22)	5 (110)	5 (110)	1 (22)	1 (22)	0	0	0	0
Ter aplicação independentemente do espaçamento e profundidade	23	5 (115)	5 (115)	3 (69)	1 (23)	5 (115)	1 (23)	0	0	1 (23)	0
Poder atuar em conjunto com ferramenta de corte de palha e rolo destorroador	10	3 (30)	5 (50)	1 (10)	1 (10)	5 (50)	5 (50)	0	0	3 (30)	0
Ter cantos arredondados e superfícies lisas	1	0	0	0	0	0	1 (1)	5 (5)	1 (1)	1 (1)	3 (3)
Ser de material resistente às intempéries	0	0	0	0	0	0	0	3 (0)	5 (0)	5 (0)	5 (0)
Ter baixo custo de aquisição	18	0	0	0	1 (18)	0	1 (18)	1 (18)	5 (90)	5 (90)	5 (90)
Ter manutenção pouco frequente e fácil	6	0	0	0	0	0	3 (18)	5 (18)	5 (30)	3 (18)	5 (30)
Soma da pontuação requisitos de projeto		530	506	400	304	412	451	53	121	162	123
Percentual de importância (%)		17,3	6,5	3,1	9,9	13,5	14,7	1,7	4,0	5,3	4,0
Ordem de Importância		1	2	5	6	4	3	10	9	7	8

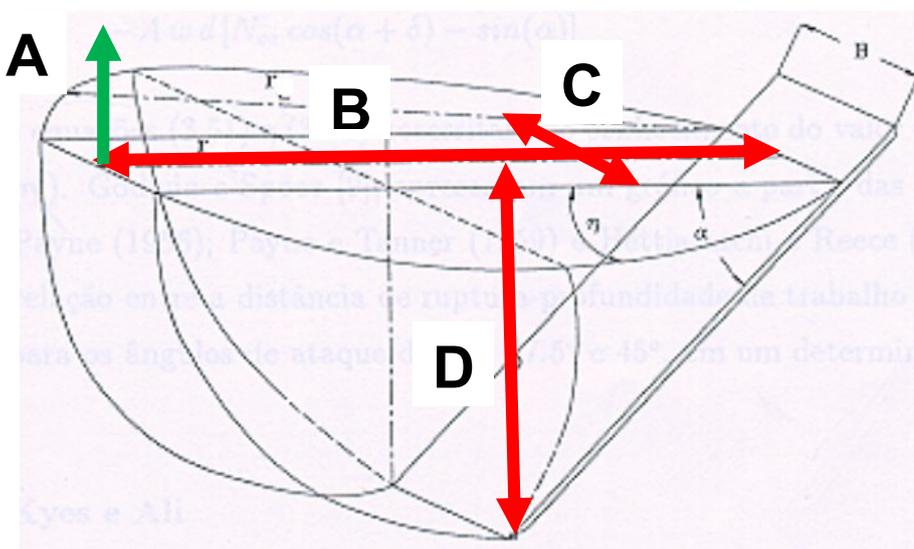
Relacionamento entre requisitos: forte – 5 pontos, médio (3 pontos), fraco (1 ponto), ausente (0 pontos);

Na matriz QFD foram colocados os requisitos dos clientes em confronto com os requisitos de projeto aproveitando os valores obtidos no Diagrama de Mudge. Desta forma, os requisitos foram hierarquizados conforme o grau de importância e constatou-se que os três principais requisitos de projeto e que foram os definidores do

modo de atuação do MAP foram: prensão da palha, homogeneizar a superfície e permitir operação do disco de corte e rolo destorroador.

A primeira prioridade identificada nos requisitos de projeto foi a necessidade de prensão da palha e com base nessa e nas informações iniciais, foi definida a necessidade de atuação do MAP, observando a experiência da equipe de projeto, os resultados encontrados por Camacho (2002) e os conceitos propostos por Godwin e Spoor (1977). Esses últimos, desenvolveram um modelo de determinação de forças atuantes em ferramentas de hastes para mobilização do solo e encontraram, dentre outras informações, que quando uma haste penetra no solo ocorre a formação de um plano de ruptura à frente de sua ponteira, com forças atuando no sentido horizontal, vertical e lateral, conforme pode ser observado na figura 25.

Figura 25 - Adaptação do modelo tridimensional de ruptura do solo adotado no trabalho. Adaptado de Godwin e Spoor (1977).



No modelo tridimensional de ruptura do solo proposto por Godwin e Spoor (1977), destacou-se alguns quesitos importantes como a distância de ruptura (B) relacionada, dentre outros fatores, com a profundidade de trabalho (D) da ferramenta. No início da deformação do solo à frente da haste, ocorre o começo da elevação do solo (A) pela ação da ferramenta, sendo este local onde inicia-se também o processo de movimentação vertical do solo que resulta no deslocamento e incorporação da cobertura vegetal presente na superfície do solo. Com isso, há a necessidade de posicionar no ponto A, da figura 25, o MAP para executar a prensão da palha e a sua

distância em relação à haste (distância de ruptura) estabelecida mediante a observação dos resultados encontrados por Camacho (2002).

As constatações observadas denotam que os requisitos de projetos mais importantes e que também são contemplados, tais como a prensão da palha e homogeneizar a superfície. Para contemplar os 3º e 4º requisitos de projeto na hierarquia, o MAP deverá ser dividido em dois apoios, um na lateral direita e outro na lateral esquerda da haste de mobilização, de forma que haja a possibilidade da aproximação do disco de corte em relação à haste e, quando variar a regulagem do implemento, estes dois apoios possam ser aproximados ou afastados.

Os requisitos de clientes 5 e 6 serão contemplados utilizando-se regulagem de pressão sobre o solo, de modo a não oferecer frenagem na palha ou no solo, para que a demanda de tração e consumo de combustível sejam baixos e a mobilização do solo, promovida pelas hastes, não seja alterada.

Os requisitos de projeto 7, 8, 9 e 10 são contemplados com a utilização de processos de fabricação simplificados e utilizando-se peças de qualidade elevada, porém em pouco número, de forma a oferecer um custo de aquisição reduzido com baixa manutenção, mas que possua também boa resistência às intempéries. A utilização de parafusos e componentes móveis embutidos, e desgaste de superfícies aderentes e cortantes, reduzirá o risco de acidentes por parte do operador nos momentos de manutenção e que estará em contato direto com o produto.

As especificações de projeto foram a necessidade de uma estrutura que executasse a prensão da palha independente da rugosidade superficial do solo, possibilitando a regulagem da pressão conforme a quantidade de palha existente, permitindo a regulagem de aproximação ou afastamento e de altura conforme a profundidade e espaçamento da ferramenta de mobilização de solo, e possuindo estrutura e processo de fabricação simplificados para redução dos custos e, não oferecendo riscos de acidente ao operador.

Na tabela 10 estão dispostas as especificações de projeto do MAP.

Tabela 10 - Especificações de projeto do mecanismo acondicionador de palha.

Ordem	Requisitos do projeto	Valor meta	Forma de avaliação
1	Preensão da palha	Mais de 70% do solo coberto por palha após a operação	Índice de permanência de palha sobre o solo (%)
2	Homogeneizar a superfície	Área de elevação do solo abaixo de 100 cm ²	Área de elevação do solo (cm ²)
3	Permitir operação do disco de corte e rolo destorroador	20 cm livre no centro da linha de preparo à frente da haste	Realização do método de observação direta ¹
4	Aplicação independentemente do espaçamento e profundidade	50 cm de largura máxima e 20 cm de aprofundamento	Realização do método de observação direta
5	Manutenção da mobilização de solo	> que 700 cm ²	Área de solo mobilizado (cm ²)
6	Redução na demanda de potência e combustível	Menor que a condição sem MAP	FMBT, PMBT, Ch, Ce e CeO
7	Custo de aquisição	≥ R\$ 300,00	Soma de custos
8	Manutenção fácil e pouco frequente	1 ocorrência a cada 200 horas	Avaliação de desgaste mediante observação direta
9	Resistência dos materiais	Observação simples de rachaduras, rupturas e danos	Observação direta dos desgastes
10	Baixo risco de acidente	Ausência de superfícies cortantes, cantos vivos e projeção de peças	Observação direta da conformidade em relação a NR 31 e Decreto 1255

¹ - Método de observação direta observação sistemática, participante e em equipe, de acordo com Marconi e Lakatos (2007) e Marconi e Lakatos (2009). FMBT – Força média na barra de tração; PMBT – Potência média na barra de tração; Ch – Consumo horário de combustível; Ce – Consumo específico de combustível; CeO – Consumo específico operacional;

6.1.3 Projeto conceitual

Na fase de projeto conceitual, a função global foi destacada como sendo a apreensão da palha no momento estabelecido na figura 25 (ponto A), e chegou-se a três soluções para este fim, tais como rodas metálicas, similares às utilizadas em rolos destorreadores, estrutura similar a um “ski” e rodados metálicas com revestimento de borracha. Dentre estas opções, definiu-se os rodados metálicos com revestimento de borracha em função do seu amplo emprego na agricultura, como rodas compactadoras e de controle de profundidade utilizadas em semeadoras adubadoras, onde o emborrachamento tem a função de absorver minimamente as vibrações provocadas pelo tráfego sobre a superfície rugosa do terreno e fornecer aderência para a rotação e deslocamento do mecanismo.

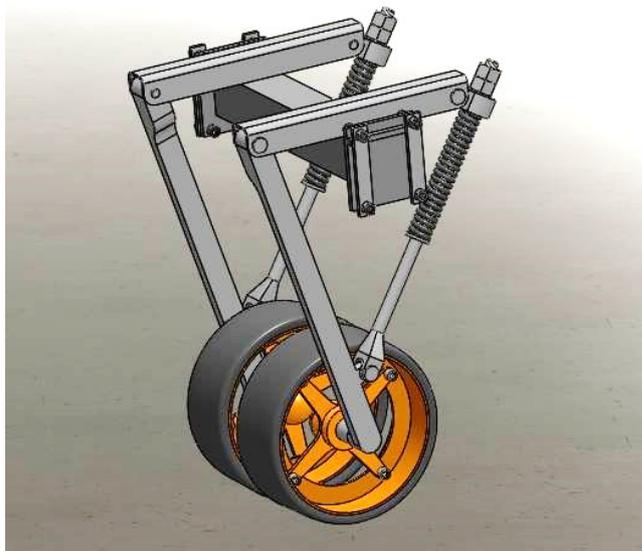
O sistema de regulagem e adequação conforme a profundidade de trabalho e espaçamento, e o aumento ou redução na pressão do mecanismo sobre o a palha e solo foram compreendidos observando o mercado e constatou-se 2 soluções adequados ao projeto, os sistemas de suspensão de linhas de semeadura em máquinas semeadoras pivotado e paralelogramo. Neste caso, o pivotado foi escolhido e função de atender o objetivo de manter a pressão, ser simples seu processo de fabricação, apresentar baixo custo construtivo e manutenção fácil.

Para atender aos requisitos de segurança, as superfícies e extremidades foram projetadas arredondadas para não haver elementos cortantes, os mecanismos com movimento, tais como o sistema de amortecimento, foram projetados de forma a não oferecer risco em caso de ruptura e projeção durante a manutenção e operação, atendendo às especificações de segurança encontradas na Norma Regulamentadora 31, e no Decreto 1255.

O leiaute foi definido observando as funções definidas e, a partir disso, determinou-se que o MAP deveria apresentar duas rodas que seriam posicionadas à frente e lateralmente em relação a haste do implemento, necessitando um afastamento mínimo de 0,02m entre elas decorrente da especificação de projeto e da necessidade do estudo do posicionamento do disco de corte em relação à haste.

O leiaute do princípio de solução, conforme as especificações de projeto e os critérios acima descritos, pode ser observada na figura 26.

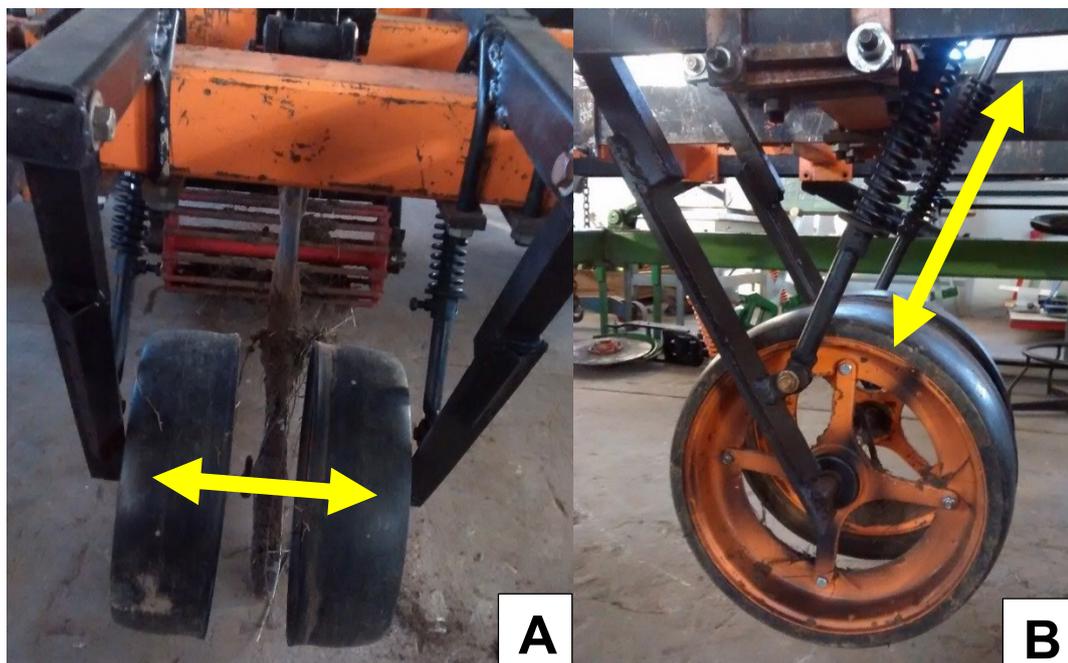
Figura 26 - Leiaute do MAP.



Após a definição do leiaute da ferramenta escolhida, foi iniciado o processo de construção de um protótipo preliminar para definir, utilizando-se um experimento para comparação entre concepções, a fim de confirmar as expectativas.

O protótipo do mecanismo acondicionador de palha possui duas rodas de diâmetro 0,40m e largura 0,115m com acoplamento independente no chassi da estrutura porta ferramentas, de forma que possibilite o afastamento ou aproximação em relação à linha central de preparo do solo (FIGURA 27A), atendendo as funções propostas pelo projeto. Além disso, cada roda possui sistema de suspensão pivotado composto por mola helicoidal com regulagem para que a pressão exercida sobre a palha e o solo se mantenha constante conforme a variação da superfície do terreno, haja a possibilidade de aumento ou redução da pressão de acordo com a quantidade de cobertura do solo, e possibilite a regulagem conforme a profundidade de preparo das hastes dos implementos, como pode ser observado na Figura 27B.

Figura 27 - Protótipo do MAP e suas regulagens.



A proposta de construção com reaproveitamento de material atendeu aos objetivos construtivos do protótipo, possibilitando ainda a redução de custos do projeto. Entretanto, é possível ainda a fabricação específica dos componentes por atendendo perfeitamente as funcionalidades da ferramenta.

O posicionamento da roda em relação à ferramenta mobilizadora de solo estabeleceu-se em testes preliminares em campo. Inicialmente, as rodas foram posicionadas lateralmente à haste, entretanto houve travamento das mesmas em virtude da formação de uma elevação de solo à sua frente, prejudicando a rotação correta. Após esta constatação, as rodas foram deslocadas à frente da haste, mas permaneceram afastadas uma da outra, de forma que estivessem alocadas sobre o início da elevação de solo que ocorre na posição frontal e acima da ponteira da haste.

Para cada haste de escarificador ou subsolador existe uma regulagem aplicada ao MAP, uma vez que o ângulo de ataque da ponteira e da haste influencia de forma decisiva a deformação do solo à frente das mesmas. Sendo assim e com base em testes preliminares, aplicou-se 0,48m de distância do mecanismo para o EDRI e 0,45m para o EDP. A pressão do sistema de suspensão foi mantida padronizada para todos os tratamentos, assim como a distância entre as rodas.

6.2. AVALIAÇÃO DAS CONCEPÇÕES

A avaliação das concepções foi estruturada em um experimento para coleta de variáveis de desempenho a fim de possibilitar diversas discussões sobre as combinações. A significância do teste F das variáveis para os fatores e para as interações foram divididas em duas, sem a primeira representando as variáveis de desempenho energético e a segunda englobando as de interação com o solo, palha e demais variáveis complementares. A tabela completa está apresentada no anexo 1.

Na tabela 11 estão dispostos os resultados do teste F para as variáveis de desempenho energético.

Tabela 11 - Tabela do teste F e as significância entre os fatores de estudo e suas interações para as variáveis energéticas.

Teste F	FMBT	Ch	PMBT	Ce	CeO
	kN	l h ⁻¹	kW	l kW h ⁻¹	l kW h m ⁻²
ED (F1)	447,1**	324,3**	234,4**	22,26*	178,57**
AP (F2)	20,16**	1,14 ^{ns}	20,07**	50,63**	9,49**
D (F3)	12,01**	8,98**	12,04**	8,64**	2,14 ^{ns}
F1 X F2	11,85**	61,09**	11,08**	33,89**	21,70**
F1 X F3	0,26 ^{ns}	10,75**	0,36 ^{ns}	10,85**	3,45*
F2 X F3	8,49**	7,25**	8,34**	4,90**	0,96 ^{ns}
F1XF2XF3	1,42 ^{ns}	1,31 ^{ns}	1,31 ^{ns}	8,02**	1,61 ^{ns}

Observou-se que para a FMBT e PMBT houve significâncias semelhantes para o teste F, onde apenas não houve diferença significativa para a interação entre os fatores ED e distâncias. Não houve significância entre os níveis do fator acondicionamento de palha para o consumo horário de combustível, já para os demais foi verificada significância. O consumo específico apresentou diferença significativa para todos os níveis dos fatores e ainda interação tripla entre os fatores. Já o CeO não apresentou diferença significativa para o fator distâncias e para a interação entre os fatores acondicionamento de palha e distâncias.

Na tabela 12 estão apresentados os resultados do teste F para as variáveis de interação com o solo, palha e demais variáveis complementares.

Tabela 12 - Tabela do teste F e as significância entre os fatores de estudo e suas interações para as variáveis de interação das ferramentas com o solo, palha e demais complementares.

Teste F	Am cm ²	Ae cm ²	Emp. %	ReO kN m ⁻²	IF -	IPS %	Pat %
ED (F1)	122,41**	17,57**	0,001 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,84 ^{ns}	2,30 ^{ns}	19,4*
AP (F2)	30,56**	77,82**	48,87**	27,24**	27,75**	83,51**	7,05*
D (F3)	0,20 ^{ns}	3,04*	2,89*	4,53**	4,46**	41,40**	1,49 ^{ns}
F1 X F2	10,32**	0,24 ^{ns}	10,20**	9,99**	10,12**	12,85**	1,37 ^{ns}
F1 X F3	1,31 ^{ns}	2,86 ^{ns}	4,11*	2,97*	3,07*	3,65**	0,63 ^{ns}
F2 X F3	0,10**	2,66*	4,17*	4,07**	4,21**	1,45 ^{ns}	1,28 ^{ns}
F1XF2XF3	0,65 ^{ns}	2,35 ^{ns}	4,28*	1,21 ^{ns}	1,18 ^{ns}	18,25**	0,39 ^{ns}

Não houve significância entre os níveis do fator distâncias e para a interação entre ED e distâncias na variável área do solo mobilizado. A área de elevação do solo apresentou interação significativa apenas entre acondicionamento de palha e distâncias e na interação tripla. Para o empolamento todos os fatores e interações foram significativos, havendo inclusive interação tripla. Não houve diferença significativa entre os ED para a ReO, entretanto houve interação entre os fatores, exceto a tripla, mesmo comportamento observado para o IF. O IPS não foi significativo entre os ED, mas apresentou interação tripla entre os fatores. Já o patinamento apresentou significância apenas entre os fatores ED e acondicionamento de palha.

A seguir estão dispostas as discussões técnicas de todas as variáveis de estudo e suas interações.

6.2.1 Índice de permanência de palha sobre o solo

O IPS representa o percentual de cobertura vegetal mantida sobre a superfície após a operação de preparo do solo, que neste trabalho, é executada por ED. Na tabela 13 está apresentada a interação tripla entre os fatores estudados.

Tabela 13 - Interação tripla entre os fatores de estudo para o índice de permanência de palha sobre o solo (%).

Combinação entre os fatores ED e AP		Distância do disco para o ED (m)			
		Sem disco	1,00	0,50	0,01
EDRI	SR/SMAP	46,42 B	68,43 A	70,20 A	68,91 A
	CR/SMAP	64,03 B	72,28 AB	62,41 B	77,55 A
	CR/CMAP	61,48 B	84,86 A	83,16 A	67,83 B
EDP	SR/SMAP	48,17 B	68,71 A	57,48 B	54,25 B
	CR/SMAP	46,09 B	75,00 A	77,04 A	46,94 B
	CR/CMAP	76,78 A	77,21 A	76,36 A	83,16 A

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ED – Fator elemento descompactador; AP – Fator acondicionamento de palha; EDRI – Elemento descompactador reto inclinado; EDP – Elemento descompactador parabólico. SR/SMAP – Sem rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/SMAP - Com rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/CMAP - Com rolo destorroador/com mecanismo acondicionador de palha;

Os maiores índices de permanência de palha sobre o solo são observados na condição com rolo destorroador e com o MAP. Além disso, quando a operação foi realizada sem o disco de corte, principalmente na condição sem rolo destorroador, a permanência de palha sobre o solo foi significativamente menor, destacando a importância do disco de corte na manutenção de palha sobre o solo. Da mesma forma, as distâncias de 0,50 e 1,00m apresentaram melhores valores em relação as condições sem disco de corte e com o disco na distância a 0,01m de distância para o EDRI. Já para o EDP, a menor distância foi bastante prejudicial a manutenção da palha nas condições sem o MAP.

Na tabela 14 observa-se que não houve diferença significativa na manutenção da palha em superfície pelos dois ED. Já para as médias dentro do fator distância, houve diferença estatística entre os níveis, ou seja, quando não houve disco à frente do ED ocorreu uma maior incorporação da palha em relação as demais condições, enaltecendo que a presença do disco de corte à frente dos ED favorece a manutenção de cobertura vegetal na superfície do solo após a operação. Entretanto, o menor IPS encontrado na menor distância (0,01) para o EDP reduziu a média geral do fator Distâncias, condição não observada para o EDRI.

Tabela 14 - Índice de permanência de palha no solo (%) para a interação entre os fatores elemento descompactador e distância do disco para o elemento descompactador.

Elemento descompactador	Distância do disco para o ED (m)				Médias
	Sem disco	1,00	0,5	0,01	
EDRI	57,31 aB	75,19 aA	71,92 aA	71,44 aA	68,96
EDP	57,02 aB	73,64 aA	70,29 aA	61,45 bB	65,60
Médias	57,16 C	74,42 A	71,10 A	66,44 B	-

As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. EDRI – Elemento descompactador reto inclinado; EDP – Elemento descompactador parabólico; ED – Elemento descompactador.

Em média, a condição onde o disco esteve posicionado a 0,01m do ED houve uma redução significativa na cobertura vegetal em relação às outras distâncias que não diferiram entre si. Isso pode estar relacionado a posição do disco em relação à haste, que quando muito próximo, efetua o corte do resíduo cultural após já iniciado o processo de mobilização de solo pela ponteira da haste, dificultando o corte eficiente da palha e promovendo sua incorporação, condição evidente quando associado ao EDP, que acabou influenciando a média geral.

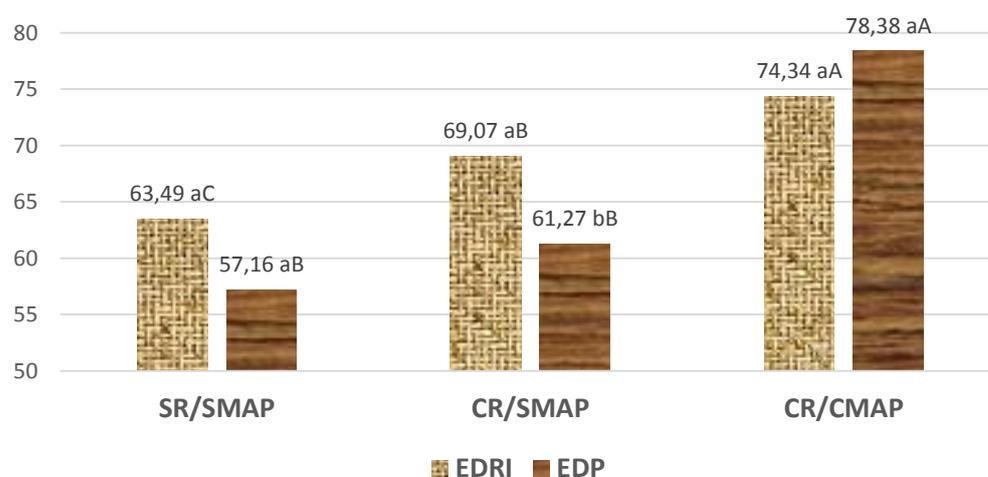
Giraldello et al. (2011), ao estudarem o efeito de 3 configurações de escarificadores sobre a manutenção da cobertura sobre o solo, destacam que os melhores resultados foram obtidos quando o implemento apresentou disco de corte de resíduos alinhado à haste, indo ao encontro dos resultados do EDRI deste trabalho. Os autores informam que o disco ao cortar o resíduo vegetal na superfície, reduz a incorporação destes no solo, e a escarificação quando realizada por escarificador convencional, sem disco de corte, tende a formar torrões grandes e aumentar a incorporação dos resíduos, condição esta observada no trabalho e representada pela figura 28.

Figura 28 – Superfície do solo resultante de duas condições de escarificação do solo, sem disco de corte e sem rolo destorroador para o EDRI e EDP, respectivamente.



Na figura 29, houve tendência de menor incorporação da palha com a adição de ferramentas como rolo destorroador e MAP, enaltecendo que essas ferramentas são importantes auxiliares para operações de descompactação mecânica do solo em áreas de SPD e outros sistemas conservacionistas.

Figura 29 - Índice de permanência de palha (%) sobre o solo para a interação entre os fatores elemento descompactador e acondicionamento de palha.



Pode-se observar que o maior impacto do MAP na diminuição da incorporação da palha foi para o EDP. Não houve diferença entre os ED, mas conforme foi

acrescentado rolo destorroador e, por último, o MAP associado ao rolo destorroador houve incremento no percentual de palha mantido sobre a superfície, isso em virtude do rolo destorroador efetuar o nivelamento da superfície do solo e também proporcionar uma pequena acomodação da palha e MAP prender a palha do momento da mobilização, favorecendo a sua manutenção na superfície.

O IPS do tratamento com a presença do MAP esteve elevado e similar a condições de pós-semeadura direta encontrados por Furlani et al. (2004) e superiores aos encontrados por Giraldeello et al (2011) e Santos et al. (2014) que trabalharam com implemento equipado com disco de corte e rolo destorroador apenas, mostrando ganhos positivos oriundos da adição do MAP.

Em média, a condição somente com rolo destorroador proporcionou valores similares à condição sem essa ferramenta, mostrando que a função da mesma é de apenas executar o nivelamento do solo após a mobilização das hastes, função esta destacada por Furlani et al. (2004).

Na tabela 15 observa-se que o IPS, em média, apresentou-se significativamente mais elevado para a condição com o MAP associado ao Rolo Destorroador, sendo que na distância 1 alcançou 81,04%, comprovando a hipótese de que o MAP favorece a manutenção de palha na superfície, resultante do aprisionamento da palha junto ao solo durante a mobilização, reduzindo o deslocamento da mesma e reduzindo a incorporação.

Tabela 15 - Índice de permanência de palha no solo (%) para a interação entre os fatores acondicionamento de palha e distância do disco para o elemento descompactador.

Acondicionamento de palha	Distância do disco para o ED (m)				Médias
	Sem disco	1,00	0,50	0,01	
SR/SMAP	47,30 cB	68,57 bA	63,84 bA	61,58 bA	63,19 b
CR/SMAP	55,06 bC	73,64 bA	69,73 bAB	62,24 bBC	65,17 b
CR/CMAP	69,13 aB	81,04 aA	79,76 aA	75,51 aAB	76,36 a

As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. EDRI – Elemento descompactador reto inclinado; EDP – Elemento descompactador parabólico; SR/SMAP – Sem rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/SMAP - Com rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/CMAP - Com rolo destorroador/com mecanismo acondicionador de palha;

Isso representou redução de cerca de 10% na incorporação de palha, atingindo patamares próximos de operações de semeadura direta. Cruz et al. (2002) discriminou

13 requisitos importantes a serem estabelecidos para o sucesso do SPD e destacou a necessidade de manter, pelo menos, 80% da superfície do solo coberta por palha. Isso reforça o papel do MAP na manutenção da cobertura vegetal na superfície dentro de patamares elevados e ainda acima da condição limite estabelecida.

Os valores do IPS com disco de corte e rolo destorroador e na condição sem estas ferramentas, estão próximos aos encontrados por Giraldeello et al. (2011), que compararam um escarificador com as ferramentas citadas e na sua versão mais tradicional, onde não há presença de disco de corte e rolo destorroador. Além disso, observa-se que quando não há rolo destorroador ou MAP, ocorrem as maiores incorporações de palha e menor manutenção desta na superfície, mas quando estas duas ferramentas estão presentes os valores apresentam-se elevados. Da mesma forma, a presença de disco de corte, mesmo nas condições sem rolo destorroador, mostra-se extremamente importante pois, pelo corte da cobertura vegetal na frente da haste escarificadora, reduz por si só o embuchamento e também contribui com a manutenção da palha na superfície.

Theisen & Bianchi (2010) desenvolveram um mecanismo para a redução da exposição do solo e manutenção da cobertura vegetal na superfície, e adicionaram em uma semeadora. Estes autores constataram que na linha onde há a mobilização do solo pelos mecanismos da semeadora, ocorrem a maior incidência de plantas daninhas, principalmente pelo fato de não haver cobertura vegetal nestes locais. Da mesma forma, Herzog (2003) trabalhou com diferentes quantidades de resíduos culturais e observou que a redução na quantidade de resíduos na superfície do solo promove o surgimento de plantas daninhas em maior quantidade. Isso destaca a necessidade e a importância de manutenção da palha sobre a superfície do solo, mantendo, assim, a sustentabilidade do sistema utilizado. Com isso, o MAP se torna ferramenta com potencial para a introdução em operações de descompactação mecânica do solo no SPD.

6.2.2 Força média na barra de tração

Na tabela 16, observa-se que a FMBT foi significativamente maior para o EDRI em relação ao EDP. Bellé (2013), ao estudar 3 diferentes ED, sendo dois iguais aos estudados neste trabalho (ED), em um Latossolo Vermelho e observou que o EDRI também apresentou maior FMBT em relação ao EDP, condição esta verificada agora

também em um solo com menor teor de argila. A menor demanda de tração do EDP justifica-se presença de uma ponteira com menor largura em relação ao EDRI.

Tabela 16 - Força média na barra de tração (kN) para a interação entre os fatores elemento descompactador e acondicionamento de palha.

Elemento descompactador	Acondicionamento de palha			Médias
	SR/SMAP	CR/SMAP	CR/CMAP	
EDRI	9,52 aB	9,39 aB	12,11 aA	10,34 a
EDP	6,03 bA	5,65 bA	6,19 bA	5,95 b

As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. EDRI – Elemento descompactador reto inclinado; EDP – Elemento descompactador parabólico; SR/SMAP – Sem rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/SMAP - Com rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/CMAP - Com rolo destorroador/com mecanismo acondicionador de palha;

O EDRI apresentou maior FMBT com diferença significativa em relação ao EDP em todos os níveis do fator AP. Em contrapartida, houve comportamento diferenciado entre os ED na condição com o MAP e rolo destorroador, onde este mecanismo proporcionou maior FMBT para o EDRI dentro dos níveis e isso não foi observado para o EDP. Isso mostra que o MAP ofereceu resistência ao deslocamento maior apenas para o EDRI, isso pode ser atribuído a uma maior área de elevação do solo para esta ferramenta, provocando maior rugosidade superficial e aumentando a pressão do mecanismo acondicionado na palha e no solo, oferecendo maior resistência ao deslocamento do conjunto e elevando a FMBT. Bellé (2013) estudou a área de elevação do solo para dois ED iguais ao deste estudo e constatou maior valor para o reto inclinado, efetivando essa constatação.

Observando as médias do fator Distância do Disco para o ED (TABELA 17), nota-se que não houve diferença significativa entre a condição sem disco e as maiores distâncias, estas mais habituais e encontradas em equipamentos comerciais. Com isso, pode haver a utilização do disco de corte de palha sem acréscimo significativo na demanda de tração. Bellé et al. (2014) estudou a demanda de tração de uma operação de escarificação com haste única sem disco e com disco, e constatou que a presença de um disco à frente da haste não alterou a demanda de tração. Essas constatações também são compartilhadas por Camacho e Magalhães (2004) e Germino (2004).

Tabela 17 – Força média na barra de tração (kN) para a interação entre os fatores acondicionamento de palha e distância do disco para o elemento descompactador.

Acondicionamento de palha	Distância do disco para o ED (m)				Médias
	Sem disco	1,00	0,50	0,01	
SR/SMAP	6,61 bB	7,30 bB	6,84 bB	10,35 aA	7,78 b
CR/SMAP	6,96 bB	6,69 bB	7,23 bB	9,20 abA	7,52 b
CR/CMAP	8,87 aAB	10,37 aA	8,92 aAB	8,45 bB	9,15 a
Médias	7,48 B	8,12 B	7,66 B	9,33 A	-

As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. SR/SMAP – Sem rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/SMAP - Com rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/CMAP - Com rolo destorroador/com mecanismo acondicionador de palha;

Observou-se maior demanda de tração, em média, na menor distância do disco para o ED, 0,01m. Isso pode estar relacionado com uma maior dificuldade de corte dos resíduos culturais, constatação observada quando se analisa a manutenção da cobertura vegetal na superfície, que nesta condição, foi reduzida em relação às demais distâncias do discos para o ED. Além disso, a ausência de uma estrutura nas hastes dos ED que proporcionasse a preensão do disco de corte para evitar a oscilação lateral do mesmo também pode ter favorecido este comportamento. Desta forma, destaca-se a importância da presença do disco de corte de palha por proporcionar coerente demanda de tração, não diferindo da condição sem disco, entretanto não recomendando a aproximação a distâncias menores de 0,50m.

A condição com rolo destorroador e o MAP ofereceu maior resistência do conjunto, impactando em maior FMBT. Quando comparado com a condição sem esta ferramenta, foi significativamente maior, mostrando que esta ferramenta ao pressionar a palha contra o solo, para não ocorrer sua movimentação, proporcionou uma certa frenagem no deslocamento do conjunto e elevando a FMBT para todos os níveis do fator distância do disco para o ED. Além disso, a condição apenas com rolo destorroador não diferiu significativamente do tratamento sem rolo destorroador, destacando que o rolo é importante para a homogeneização da superfície do solo na mesma operação, sem a necessidade de uma operação posterior de gradagem, e não contribuindo para a elevação da demanda de tração para as condições deste estudo.

6.2.3 Potência média na barra de tração

Na tabela 18 estão apresentados os resultados da PMBT na interação entre os fatores ED e AP. O EDP necessitou menos 36% PMBT em relação ao EDRI. Bellé (2013), estudou a demanda de potência de 3 ED, sendo dois deles iguais a estes utilizados neste trabalho, e observou a mesma tendência, onde o ED com formato parabólico apresentou menor PMBT em relação ao ED reto inclinado em um Latossolo Vermelho. Esses resultados demonstram a superioridade do EDP pela menor demanda de potência tanto em duas condições de solo, com maior teor de argila e outro com menor teor. Os valores são inferiores aos encontrados por Salvador et al. (2008) e Salvador et al. (2009) durante uma operação de subsolagem, mostrando estarem coerentes para operações de preparo do solo com implementos de hastes.

Tabela 18 - Potência média na barra de tração (kW) para a interação entre os fatores ED e AP.

Elemento descompactador	Acondicionamento de palha			Médias
	SR/SMAP	CR/SMAP	CR/CMAP	
EDRI	13,76 aB	13,57 aB	17,51 aA	14,95 a
EDP	9,72 bA	9,11 bA	9,97 bA	9,60 b

As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. EDRI – Elemento descompactador reto inclinado; EDP – Elemento descompactador parabólico. SR/SMAP – Sem rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/SMAP - Com rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/CMAP - Com rolo destorroador/com mecanismo acondicionador de palha;

A PMBT da condição com MAP associado ao rolo destorroador foi em média 21% maior que a condição somente com rolo destorroador (CR/SMAP). Isso mostra o que já foi observado na variável FMBT, onde foi mostrada esta mesma tendência.

Na tabela 19 estão apresentados os resultados da interação entre os fatores acondicionamento de palha e distância do disco para o ED. Observa-se que há uma elevação da demanda de potência com a menor distância do disco em relação ao ED, mostrando que efetivamente a utilização de disco de corte muito próxima de hastes em implementos como subsoladores e escarificadores não deve ser recomendada com vistas a maior demanda de potência do conjunto em decorrência disso.

Tabela 19 - Potência média na barra de tração (kW) para a interação entre os fatores acondicionamento de palha e o fator distância do disco para o elemento descompactador.

Acondicionamento de palha	Distância do disco para o ED (m)				Médias
	Sem disco	1,00	0,50	0,01	
SR/SMAP	9,97 bB	11,06 bB	10,27 bB	15,66 aA	13,65 b
CR/SMAP	10,47 bB	10,04 bB	10,95 bB	13,91 abA	13,20 b
CR/CMAP	13,34 aAB	15,56 aA	13,37 aAB	12,70 bB	16,06 a
Médias	11,26 A	12,22 B	11,53 B	14,09 A	-

As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. SR/SMAP – Sem rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/SMAP - Com rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/CMAP - Com rolo destorroador/com mecanismo acondicionador de palha;

Em geral, a condição sem disco de corte em comparação às condições com disco a 1,00m e 0,50m, distâncias estas similares às utilizadas em implementos comerciais, não diferiram estatisticamente. Com isso, comprova-se a hipótese de que o disco é imprescindível para as operações de descompactação do solo em áreas de SPD, pois reduz a incorporação de palha, já visualizado na variável IPS sobre o solo, sem alterar a demanda de potência. Este fato é enaltecido por Bellé et al. (2014), que observou uma leve redução na PMBT com a utilização de disco de corte de forma alinhada a ED para escarificação do solo em Latossolo Vermelho.

6.2.4 Área de solo mobilizado

A área de solo mobilizado é uma variável que determina o efeito do tratamento proposto no solo em vista que operações de correção de problemas de solo tenderão a resultados elevados.

Na tabela 20, em média os ED diferiram estatisticamente entre si, onde o EDRI apresentou maior mobilização de solo em relação ao EDP. Apesar da regulagem da profundidade teórica ser 0,25m para ambos os ED, a profundidade real média do experimento foi 0,24m, com pequena variação em relação à teórica, sendo que para o EDP e o EDRI o aprofundamento médio foi 0,22m e 0,27m, respectivamente. Além disso, a largura da ponteira do EDRI é maior em relação ao EDP, o que implicou nessa diferenciação da mobilização de solo entre os ED, onde o EDRI com maior profundidade de atuação e maior largura de ponteira obteve maior área de solo

mobilizado e o EDP, com menor largura de ponteira e menor profundidade obteve menor área mobilizada.

Tabela 20 - Área de solo mobilizado (cm²) da interação entre os fatores elemento descompactador e acondicionamento de palha.

Elemento descompactador	Acondicionamento de palha			Médias
	SR/SMAP	CR/SMAP	CR/CMAP	
EDRI	961,55 aA	911,38 aA	715,99 aB	862,98 a
EDP	555,91 bA	535,07 bA	488,32 bA	526,43 b
Médias	758,74 A	723,22 A	602,15 B	-

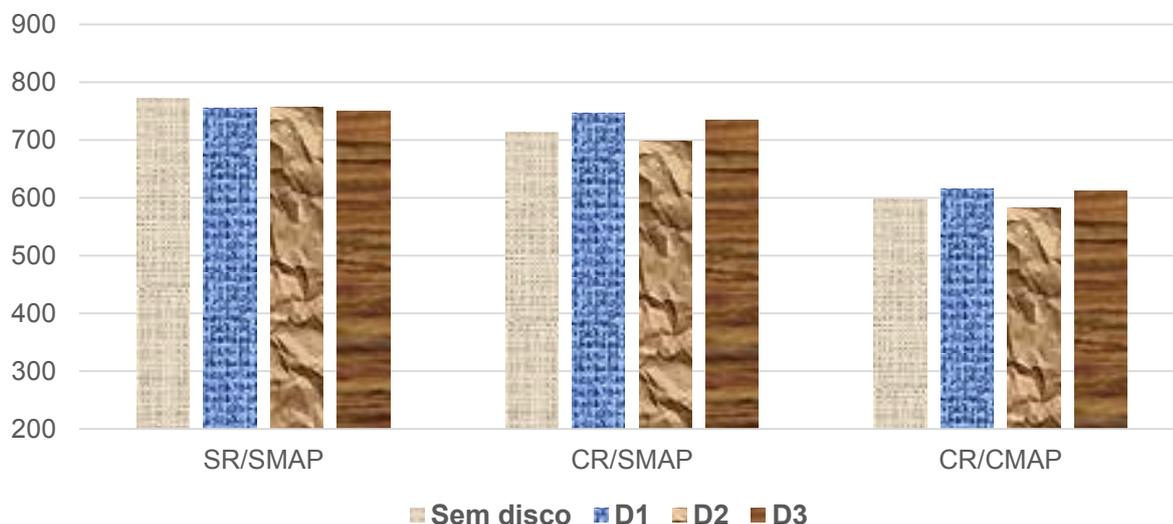
As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. EDRI – Elemento descompactador reto inclinado; EDP – Elemento descompactador parabólico. SR/SMAP – Sem rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/SMAP - Com rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/CMAP - Com rolo destorroador/com mecanismo acondicionador de palha;

Carvalho Filho, et al. (2008), compararam diferentes implementos de preparo de solo em um Latossolo Vermelho e observaram valores de área mobilizada de 420cm² para o escarificador utilizado a 0,25m, estando estes abaixo aos proporcionados pelo EDRI e EDP.

Rosa et al. (2008), trabalharam em um Argissolo com um escarificador de hastes parabólicas a 0,25m, equipamento semelhante ao EDP, entretanto os valores de área de solo mobilizado foram muito inferiores aos do EDP e, também ao EDRI. Além disso, o perfil da mobilização encontrado por estes pesquisadores foi mais estreito em relação ao do presente trabalho, evidenciando a importância da regulagem no espaçamento entre as hastes conforme a variação no teor de umidade do solo e a geometria da ferramenta.

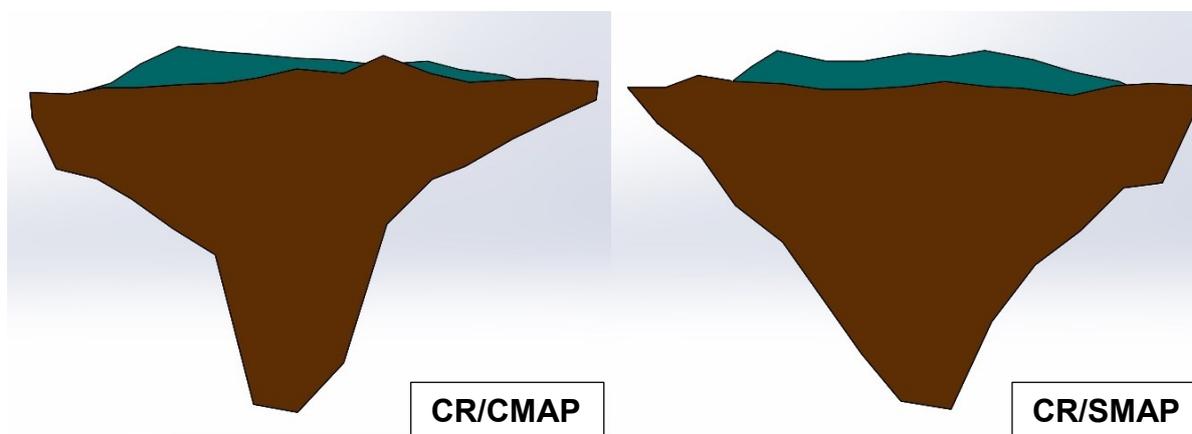
Na figura 30 observa-se a área mobilizada de solo para a interação entre os fatores distância e acondicionamento de palha.

Figura 30 - Ilustração dos valores encontrados de área de solo mobilizado para a interação entre os fatores distância do disco para o elemento descompactador e acondicionamento de palha.



Dentro do fator acondicionamento de palha e independentemente da presença de disco de corte ou da distância para o ED, observou-se uma pequena redução na mobilização de solo no tratamento com o MAP. Isso, de certa forma, não era esperado, mas o posicionamento do MAP no local onde ocorre a elevação do solo verticalmente, promove a preensão da palha e uma pressão contrária a esse movimento vertical do solo, impactando principalmente na propagação lateral dos efeitos da mobilização do solo, como pode ser observado na figura 31. Desta maneira, mais estudos devem ser realizados no que se refere a pressão do MAP em relação a palha e o solo, objetivando a minimização dos efeitos contrários à mobilização de solo e mantendo os efeitos positivos na manutenção da cobertura vegetal sobre o solo.

Figura 31 - Ilustração do perfil de solo mobilizado (marrom) de um tratamento com rolo destorroador e mecanismo acondicionador de palha, e com rolo destorroador apenas.



A ilustração da mobilização de solo promovida pelo tratamento CR/CMAP apresenta visivelmente um pequeno estreitamento no setor intermediário do perfil em comparação ao perfil em “V” característico da operação de implementos de hastes e ponteiros (subsoladores e escarificadores) observado no tratamento sem o MAP. Esse efeito negativo pode estar relacionado a uma pressão excessiva exercida pelo MAP onde estabeleceu-se uma força descendente promovida pelo MAP e contrária ao movimento vertical ascendente da mobilização do solo, reduzindo os efeitos do preparo.

A variação da mobilização de solo não foi significativa entre as condições sem disco de corte de palha e as distâncias. Isso vai ao encontro dos resultados encontrados por Levien et al. (2004), Bellé et al. (2014) e Francetto et al. (2015), que não encontraram diferença significativa na área de solo mobilizado decorrente da presença ou não de disco liso para corte de resíduos culturais. Os dados estão próximos aos encontrados por Gassen et al. (2014) ao estudar uma escarificação do solo em camadas de forma simultânea.

6.2.5 Área de solo elevada

A área de solo elevada representa a elevação do solo verticalmente em relação ao relevo original. Na tabela 21, observa-se que houve diferença significativa entre os tratamentos do fator acondicionamento de palha, onde a condição sem a presença de rolo destorroador foi a que apresentou o valor estatisticamente maior que as

condições com rolo e sem MAP e com MAP, que não diferiram entre si. Isso vai ao encontro das constatações feitas por Furlani et al. (2004), referindo o rolo destorroador como ferramenta que cumpre a função de nivelar a superfície do solo após a operação de preparo do solo.

Tabela 21 - Elevação do solo (cm²) para a interação entre os fatores acondicionamento de palha e distância do disco de corte para o elemento descompactador.

Acondicionamento de palha	Distância do disco para o ED (m)				Médias
	Sem disco	1,00	0,50	0,01	
SR/SMAP	200,75 aA	160,6 aAB	188,5 aAB	135,31 aB	171,30 a
CR/SMAP	83,38 bA	77,92 bA	88,75 bA	110,5 abA	90,13 b
CR/CMAP	124,01 bA	70,02 bB	75,92 bAB	87,07 bAB	89,25 b
Médias	136,04 A	102,85 B	117,74 AB	110,96 AB	-

As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. SR/SMAP – Sem rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/SMAP - Com rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/CMAP - Com rolo destorroador/com mecanismo acondicionador de palha;

A tendência observada para as médias também foi constatada para a interação, onde independentemente dos níveis do fator distância para o ED, a condição sem rolo destorroador foi a que apresentou maior área de elevação do solo. Além disso, quando não houve a presença de disco de corte, os valores de área de elevação foram maiores, destacando a importância do disco de corte na redução do tamanho inicial dos torrões e facilitando a redução no tamanho dos torrões executada pelo rolo destorroador

A combinação do rolo destorroador com o MAP mostrou-se eficiente em nivelar o solo, pois um mecanismo assegura a prensão da palha e o outro nivela e faz o acabamento final da linha de preparo. Garcia et al. (2008) destaca em seu estudo que a função do rolo destorroador é destruir torrões de solo produzidos pelas operações antecedentes, eliminando bolsões de ar e torrões endurecidos, favorecendo a germinação das culturas posteriormente semeadas.

Quando objetiva-se a semeadura após uma operação de descompactação do solo, a rugosidade superficial excessiva, promovida pela elevação do solo, prejudica o desempenho da semeadora e, por isso, são conjugados aos implementos descompactadores, tais como subsoladores e escarificadores, rolos destorroadores,

cuja função é reduzir o tamanho dos torrões produzidos e proporcionar o nivelamento do solo para a semeadura (MENEZES, 2013), favorecendo esta operação.

6.2.6 Empolamento do solo

Na tabela 22 estão contidos os resultados do empolamento do solo para a interação entre os fatores acondicionamento de palha e distância do disco para o ED, onde a adição de ferramentas de acondicionamento de palha interferiu no empolamento do solo, diferindo estatisticamente da condição com rolo destorroador e MAP. Isso se justifica pelo fato de ocorrer um nivelamento do solo pela presença do rolo destorroador e MAP, que reduziram a área de elevação sem alterar a mobilização do solo e, conseqüentemente, reduz o empolamento, que é expresso pela relação destas duas variáveis.

A redução no empolamento pela adição de ferramentas para manejo da palha também foi observada por Brandelero et al. (2014) quando analisou esta variável em uma operação de semeadura. Estes autores adicionaram um mecanismo para manejo da palha na frente de uma haste sulcadora de fertilizante e diagnosticaram que este tipo de estrutura altera a forma de ação deste sulcador, reduzindo o empolamento.

Tabela 22 - Empolamento do solo (%) para a interação tripla entre os fatores elemento descompactador, acondicionamento de palha e distância do disco para o elemento descompactador.

Combinação entre os fatores ED e AP		Distância do disco para o ED (m)			
		Sem disco	1,00	0,50	0,01
EDRI	SR/SMAP	23,15 A	17,62 A	24,87 A	17,13 A
	CR/SMAP	14,62 A	12,34 A	16,04 A	10,08 A
	CR/CMAP	18,58 A	15,39 A	18,15 A	15,54 A
EDP	SR/SMAP	30,69 A	29,38 A	24,96 A	20,96 A
	CR/SMAP	6,50 B	7,72 B	8,84 B	26,04 A
	CR/CMAP	24,88 A	6,55 B	6,39 B	11,38 B
Médias		19,74 A	14,84 B	16,54 AB	16,86 AB

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ED – Fator elemento descompactador; AP – Fator acondicionamento de palha; EDRI – Elemento descompactador reto inclinado; EDP – Elemento descompactador parabólico. SR/SMAP – Sem rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/SMAP - Com rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/CMAP - Com rolo destorroador/com mecanismo acondicionador de palha;

A condição sem disco de corte apresentou maior empolamento do solo em relação a condição com disco de corte. Isso pelo fato da formação dos torrões de maior tamanho quando não se utiliza disco de corte, que efetua o corte do solo e executa a primeira redução no tamanho dos torrões. Não houve diferença significativa entre os ED quando ao empolamento do solo.

6.2.7 Patinamento

Não houve interação entre os fatores para o patinamento. Entretanto, em média o EDRI apresentou patinamento significativamente maior em relação ao EDP, com 21,6% e 14,16%, respectivamente, isso em função do primeiro exigir maior demanda de tração em detrimento do segundo. Isso ocorre porque a maior demanda de tração de uma ferramenta é resultante da maior reação do solo contra ela e isso se reflete no aumento do esforço do trator para superá-la, resultando em incremento no patinamento. Entretanto, para Russini (2009), a elevação do patinamento não acompanha sempre o incremento da força de tração, sendo que esta atinge um pico e decresce, enquanto o patinamento eleva-se, pois a resistência à tração do solo, importante para a aderência do rodado ao solo, reduz-se.

Os valores do patinamento do experimento apresentam-se elevados para os padrões estabelecidos na literatura para solos firmes, sem mobilização. Segundo ASAE (1989), o valor do patinamento para que o trator obtenha a máxima eficiência de tração deve ficar entre 8 a 10% para solos sem mobilização, 11 a 13% em solos revolvido e de 14 a 16% em solos arenosos. Já Márquez (2012) estabelece um patinamento máximo aceitável para tratores 4x2 de 15 a 20%. Entretanto, por se tratar de um solo arenoso e a tração ser exercida por um trator 4x2, os valores estão próximos aos limites aceitáveis apesar de estarem elevados. Da mesma forma, a falta de estudos norteando níveis ideais de patinamento para superfícies com presença de cobertura vegetal, como as áreas do SPD, deixam em aberto a correlação com a literatura.

Os níveis do patinamento próximos ao máximo estipulado pela literatura, denotam que a demanda de tração imposta pelo EDRI ao trator esteve próxima ao limite máximo de eficiência de tração para a quantidade de lastro adicionada ao trator. Esta, no momento do trabalho, era de 75% de lastro líquido nos rodados motrizes e 100Kg de lastro metálico no eixo dianteiro. Além disso, observa-se que a capacidade

de tração poderia ser aumentada adicionando-se ainda mais lastro nos rodados motrizes.

6.2.8 Consumo horário de combustível

As médias da variável consumo horário de combustível e os resultados da interação entre os fatores acondicionamento de palha e distância do disco para o ED, estão apresentados na tabela 23.

Tabela 23 - Consumo horário de combustível ($l\ h^{-1}$) para a interação entre os fatores acondicionamento de palha e distância do disco para o elemento descompactador.

Acondicionamento de palha	Distância do disco para o ED (m)				Médias
	Sem disco	1,00	0,50	0,01	
SR/SMAP	10,71 aB	10,88 bB	9,79 bB	12,71 aA	11,02
CR/SMAP	10,85 aB	10,68 bB	11,27 aB	12,81 aA	11,40
CR/CMAP	10,63 aB	12,45 aA	11,11 aAB	10,66 bB	11,21
Médias	10,73 B	11,24 AB	10,72 B	12,06 A	-

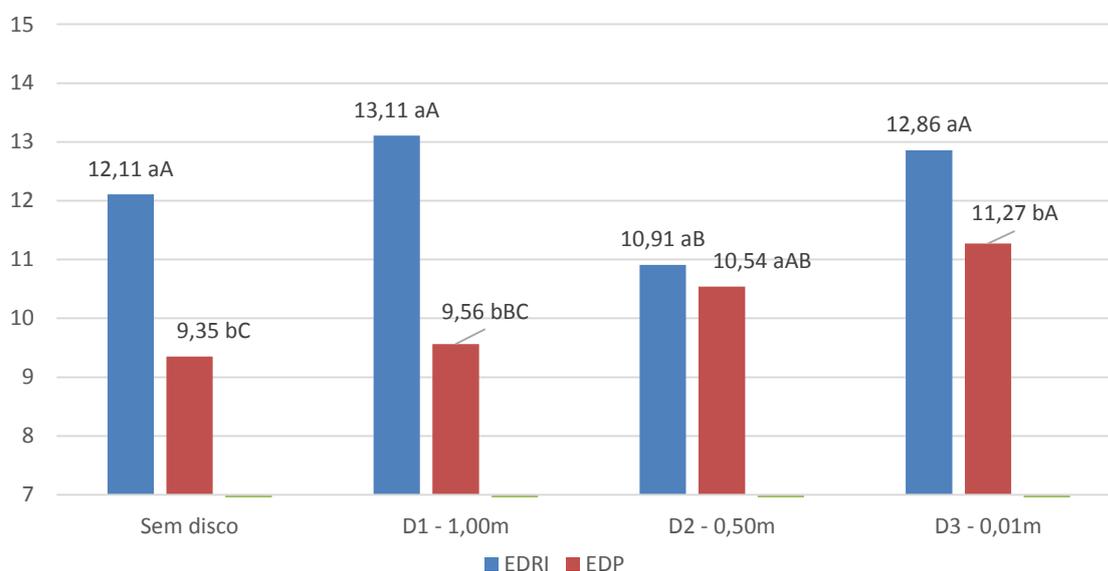
As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. SR/SMAP – Sem rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/SMAP - Com rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/CMAP - Com rolo destorroador/com mecanismo acondicionador de palha;

Em média, não houve diferença significativa entre os níveis do fator acondicionamento de palha. Embora a FMBT tenha destacado esta diferença, o aumento nessa não implicou em incremento significativo na demanda de combustível por parte do motor do trator. Já a menor distância do disco para o ED foi, em média, a condição que se destacou significativamente em relação às condições sem disco e na distância de 0,50m. Além disso, ao observar separadamente dentro da interação, nota-se que há uma diferença em relação às demais condições quando o disco apresenta-se mais próximo do ED, visualização esta, evidente também na observação da FMBT. Entretanto, não houve diferença significativa entre a condição sem disco de corte e com disco de corte, corroborando com os resultados encontrados por Francetto et al. (2015), que não encontraram diferença no consumo horário de combustível com disco e sem disco de corte.

Na Figura 32 estão apresentados os resultados do consumo horário de combustível e o EDRI que apresentou médias significativamente superiores em

relação ao EDP para todos os níveis do fator Distância do disco para o ED. Além disso, para o EDP houve uma tendência linear de aumento do consumo de combustível com a redução da distância do disco para este ED, já para o EDRI esta tendência não é observada. Isso mostra que pode haver uma maior dificuldade de corte por parte do disco quando ele se aproxima da frente de mobilização promovido pelo ED, impactando em maior demanda de tração e, conseqüentemente, de consumo de combustível.

Figura 32 - Consumo horário de combustível para a interação entre os fatores elemento descompactador e distância do disco para o ED.



Simões et al. (2011) destacam que o combustível é um dos principais componentes do custo operacional de uma subsolagem. Isso destaca a necessidade de projetos de ferramentas e condições operacionais bem estabelecidas para racionalizar este recurso.

Na tabela 24 está o consumo de combustível para a interação entre os fatores ED e acondicionamento de palha.

Tabela 24 - Interação entre os fatores elemento descompactador e acondicionamento de palha para a variável consumo horário de combustível ($l\ h^{-1}$).

Elemento descompactador	Acondicionamento de palha			Médias
	SR/SMAP	CR/SMAP	CR/CMAP	
EDRI	11,57 aB	11,35 aB	13,81 aA	12,24 a
EDP	10,47 bA	11,45 aA	8,61 bB	10,18 b
Médias	11,02	11,40	11,21	-

As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. EDRI – Elemento descompactador reto inclinado; EDP – Elemento descompactador parabólico. SR/SMAP – Sem rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/SMAP - Com rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/CMAP - Com rolo destorroador/com mecanismo acondicionador de palha;

Observa-se que houve um maior consumo de combustível por parte do EDRI, muito em função de sua ponteira apresentar uma largura pouco superior ao EDP, aumentando assim a resistência ao deslocamento através do solo, aumentando a demanda de combustível. Em média, não houve diferença significativa entre os níveis do fator Acondicionamento de palha.

6.2.9 Consumo específico de combustível

Na tabela 25 estão os resultados da interação tripla entre os fatores estudados.

Tabela 25 – Interação tripla entre os fatores elemento descompactador, acondicionamento de palha e distância do disco para o elemento descompactador para a variável consumo específico de combustível ($l\ kw\ h^{-1}$).

Combinação de fatores		Distância do disco para o ED (m)			
		Sem disco	1,00	0,50	0,01
EDRI	SR/SMAP	1,00 A	0,99 A	0,69 B	0,74 B
	CR/SMAP	0,85 A	0,85 A	0,86 A	0,78 A
	CR/CMAP	0,79 A	0,82 A	0,74 A	0,81 A
EDP	SR/SMAP	1,17 B	1,01 BC	1,41 A	0,91 C
	CR/SMAP	1,35 AB	1,47 A	1,25 BC	1,11 C
	CR/CMAP	0,81 B	0,80 B	1,05 A	0,89 AB
Médias		0,99 A	0,99 A	1,00 A	0,87 B

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ED – Fator elemento descompactador; AP – Fator acondicionamento de palha; EDRI – Elemento descompactador reto inclinado; EDP – Elemento descompactador parabólico. SR/SMAP – Sem rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/SMAP - Com rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/CMAP - Com rolo destorroador/com mecanismo acondicionador de palha;

Para o EDRI na condição sem rolo destorroador, houve um menor consumo específico de combustível na condição sem disco de corte e quando o disco de corte esteve a 1,00m do ED. Já quando as distâncias foram reduzidas, o consumo específico foi reduzido significativamente, isso em função do menor consumo de combustível por unidade de potência, mostrando melhor eficiência energética. Da mesma forma, na menor distância do disco para o EDP também foi observado o menor valor significativamente, mesma tendência para a média geral do fator distância.

O consumo específico de combustível representa o gasto de combustível do trator em litros por quilowatt de potência demandada pelo conjunto durante uma hora de operação. Grisso et al. (2004), destacam que o consumo específico de combustível é a variável mais utilizada para se aferir a eficiência energética e pode ser empregada para comparação de diferentes condições operacionais por não ser influenciada pela dimensão do motor ou tamanho do trator utilizado (GRISSE et al. 2008). Os resultados da interação entre os fatores acondicionamento de palha e distância do disco para o ED estão dispostos na tabela 26.

Tabela 26 - Consumo específico de combustível ($l\ kW\ h^{-1}$) para a interação entre os fatores acondicionamento de palha e distância do disco para o elemento descompactador.

Acondicionamento de palha	Distância do disco para o ED				Médias
	Sem disco	1,00	0,50	0,01	
SR/SMAP	1,09 aA	1,00 bA	1,05 aA	0,82 bB	0,99 b
CR/SMAP	1,10 aA	1,16 aA	1,06 aAB	0,95 aB	1,06 a
CR/CMAP	0,80 bA	0,81 cA	0,89 bA	0,85 abA	0,84 c
Médias	0,99 A	0,99 A	1,00 A	0,87 B	-

As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. SR/SMAP – Sem rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/SMAP - Com rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/CMAP - Com rolo destorroador/com mecanismo acondicionador de palha;

O consumo específico de combustível teve comportamento diferenciado em relação às variáveis anteriores, ou seja, onde haviam elevações da demanda de tração e consumo de combustível agora ocorreu uma inversão. Isso aconteceu pela maior eficiência em gastar o combustível por quilowatt de potência demandada. Desta forma, destaca-se o tratamento com a presença do MAP com rolo destorroador, que apesar de demandar mais força e potência na barra de tração, em proporção,

promoveu menor consumo de combustível em relação aos outros tratamentos com significância para o teste estatístico. Essa tendência também se mostrou quando analisadas as médias do fator distância do disco para o ED, onde a menor distância, que demandou mais força e potência na barra de tração, também foi a condição mais eficiente, onde o requerimento de tração não significou elevação tão expressiva no consumo de combustível, ao ponto de se destacar positivamente e significativamente em relação às condições em disco e as distâncias maiores (1,00 e 0,50m).

Na interação, não houve diferença estatística entre os níveis do fator distâncias nas linhas para as condições sem rolo destorroador e sem MAP e com rolo destorroador e com MAP. De uma maneira geral, os consumos efetivamente melhores foram obtidos com o disco a 0,01m para o ED e com o rolo destorroador associado ao MAP.

Na tabela 27, a tendência demonstrada na interação anterior também foi verificada nesta. Os valores significativamente melhores foram obtidos na condição com rolo destorroador e MAP, mostrando o potencial desta ferramenta sob o ponto de vista conservacionista e também de desempenho energético. Embora o EDRI tenha demandado maior força e potência na barra de tração, isso não significou aumento tão elevado no consumo de combustível, impactando de forma expressiva no consumo efetivo, com mais 24% de eficiência no gasto de combustível por unidade de potência (kW) demandada.

Tabela 27 - Interação entre os fatores acondicionamento de palha e elemento descompactador na variável consumo específico de combustível ($l \text{ kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

Elemento descompactador	Acondicionamento de palha			Médias ($l \text{ kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$)
	SR/SMAP	CR/SMAP	CR/CMAP	
EDRI	0,85 bA	0,84 bA	0,79 aA	0,83 b
EDP	1,13 aB	1,30 aA	0,89 aC	1,10 a

As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. EDRI – Elemento descompactador reto inclinado; EDP – Elemento descompactador parabólico. SR/SMAP – Sem rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/SMAP - Com rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/CMAP - Com rolo destorroador/com mecanismo acondicionador de palha;

A transformação de energia provida da combustão em potência é importante sob o ponto de vista da economicidade de recursos e efetividade dos projetos das ferramentas. Para Vilde et al. (2004), a introdução de máquinas mais econômicas na

agricultura é peça chave para a redução dos custos de produção fruto da economia de energia e combustível.

6.2.10 Consumo específico operacional

O consumo específico operacional (CeO) representa o gasto de combustível do trator mediante a demanda de potência do implemento tracionado, fruto de uma mobilização de solo, ou seja, é variável importante para correlacionar as diferentes interações do tratamento proposto com o solo e frente à resposta do trator.

Observando a análise estatística da tabela 28, nota-se que o EDRI obteve CeO significativamente menor que o EDP, isso em função de um menor consumo horário de combustível por potência demandada e maior mobilização de solo. Comparativamente, o EDRI consumiu menos combustível e demandou menos potência para mobilizar a mesma quantidade de solo que o EDP, sendo considerado mais eficiente. Os dados dos EDs foram similares aos encontrados por Bellé et. al. (2014).

Tabela 28 - Consumo específico operacional (l kW h m⁻²) da interação entre os fatores elemento descompactador e acondicionamento de palha.

Elemento descompactador	Acondicionamento de palha			Médias
	SR/SMAP	CR/SMAP	CR/CMAP	
EDRI	9,04 bA	9,41 bA	11,18 bA	9,87 b
EDP	20,66 Ab	24,62 aA	18,65 aB	21,31 a
Médias	14,85 b	17,01 a	14,92 b	-

As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. EDRI – Elemento descompactador reto inclinado; EDP – Elemento descompactador parabólico. SR/SMAP – Sem rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/SMAP - Com rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/CMAP - Com rolo destorroador/com mecanismo acondicionador de palha;

A condição com o MAP obteve o menor CeO em relação aos demais, porém não diferindo da condição similar a um escarificador convencional sem disco e rolo destorroador (SR/SMAP). Assim, observa-se que essa ferramenta possui potencial de utilização quando acoplada em implementos descompactadores de solo pois sua eficiência energética é, comparativamente, igual ou superior aos implementos utilizados nestas operações e amplamente difundidos no mercado.

Na tabela 29 estão apresentados os valores de CeO para a interação entre os fatores distância do disco e ED.

Tabela 29 - Consumo específico operacional (l kW h m⁻²) na interação entre os fatores Distância do disco para o elemento descompactador e elemento descompactador.

Elemento descompactador	Distância do disco para o ED (m)			
	Sem disco	1,00	0,50	0,01
EDRI	10,59 Ba	10,73 bA	9,27 bA	8,93 bA
EDP	21,46 Aab	19,40 aB	24,35 aA	20,03 aB
Médias	16,02 a	15,06 a	16,81 a	14,47 a

As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. EDRI – Elemento descompactador reto inclinado; EDP – Elemento descompactador parabólico.

Em média, não houve diferença significativa entre o CeO das distâncias para os ED. Entretanto, para o EDP a maior distância do disco para o ED (D1) foi a que apresentou o menor CeO, porém não diferindo significativamente da menor distância (D3). Já as distâncias em relação ao EDRI, assim como a ausência de disco não influenciaram significativamente o CeO. Isso vai ao encontro dos resultados observados por Bellé (2013), que também não encontrou diferença significativa no CeO de uma operação de escarificação do solo com e sem disco de corte de palha acoplado.

6.2.11 Resistência específica operacional

Na tabela 30 está a ReO para interação entre ED e acondicionamento de palha.

Tabela 30 - Interação entre os fatores elemento descompactador e acondicionamento de palha para a variável resistência específica operacional (kN m⁻²).

Elemento descompactador	Acondicionamento de palha		
	SR/SMAP	CR/SMAP	CR/CMAP
EDRI	99,54 aB	104,20 aB	172,10 aA
EDP	110,99 aA	110,27 aA	127,99 bA

As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. EDRI – Elemento descompactador reto inclinado; EDP – Elemento descompactador parabólico. SR/SMAP – Sem rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/SMAP - Com rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/CMAP - Com rolo destorroador/com mecanismo acondicionador de palha;

A diferença entre os ED está expressa apenas na condição com rolo destorroador e MAP, onde os valores foram significativamente maiores para o EDRI. Já entre os níveis do fator acondicionamento de palha, houve diferença apenas para o EDRI, onde a condição com rolo e com MAP, muito em função desta condição apresentar uma maior demanda de tração e uma pequena redução na mobilização de solo, impactando em aumento da ReO que faz a relação entre estas duas variáveis citadas.

Conte et al. (2011) destacam que a ReO é um importante parâmetro para comparar o gasto de potência e energia por diferentes hastes em condições de mesma profundidade de trabalho e a eficiência na mobilização do solo por hastes operando em diferentes profundidades. Estes pesquisadores ainda acrescentam que a ReO avalia os parâmetros geométricos das hastes e seus desempenhos ao quantificar as suas mobilizações de solo e força de tração.

Mesmo havendo menor demanda de força de tração por parte do EDP (TABELA 31), a sua mobilização de solo foi baixa, não representando relação suficientemente eficiente para diferir estatisticamente do EDRI, não diferindo em todos os níveis do fator distância. Em média, a ReO de ambos ED esteve elevada em relação aos dados encontrados por Rapper (2002) e Gassen et al. (2014). Além disso, Bellé et al. (2014) correlacionaram variáveis energéticas e de solo com ED semelhantes aos do presente trabalho em um Latossolo Vermelho e encontraram ReO menor, mostrando baixa eficiência dos ED sem um Argissolo com teor de argila menor.

Tabela 31 - Resistência específica operacional (kN m^{-2}) para a interação entre os fatores elemento descompactador e distância do disco para o elemento descompactador.

Elemento descompactador	Distância do disco para o ED (m)				Médias
	Sem disco	1,00	0,50	0,01	
EDRI	117,62 aA	132,34 aA	122,08 aA	129,09 aA	125,28
EDP	105,11 aB	104,69 aB	108,30 aB	147,57 aA	116,42
Médias	111,36 B	118,52 AB	115,19 B	138,33 A	-

As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. EDRI – Elemento descompactador reto inclinado; EDP – Elemento descompactador parabólico.

A condição com disco de corte apresentou ReO maior em comparação a sem disco de corte. Isso se justifica pelo fato da presença do disco de corte de palha

proporcionar um pequeno incremento na demanda de força de tração e não proporcionar elevação na área de solo mobilizado, elevando a ReO e sendo um resultado esperado. Bellé (2013) também observou maior ReO quando da presença de disco de corte de palha à frente do ED.

Para o EDP a menor distância do disco para o ED (0,01m) foi a que apresentou maior ReO, mostrando uma tendência em redução na eficiência trativa com a redução da distância do disco para o ED. Entretanto, mais estudos necessitam ser realizados no sentido de entender a relação do disco com a haste e se há necessidade de mudança no projeto da haste quando o disco apresenta-se próximo dela.

Na tabela 32 estão os resultados da interação entre os fatores acondicionamento de palha e distância do disco para o ED.

Tabela 32 – Resistência específica operacional (kN m^{-2}) para a interação entre os fatores acondicionamento de palha e distância do disco para o elemento descompactador.

Acondicionamento de palha	Distância do disco para o ED (m)				Médias
	Sem disco	1,00	0,50	0,01	
SR/SMAP	87,26 bB	102,12 bB	88,84 bB	142,85 aA	105,27 b
CR/SMAP	100,8 bAB	87,10 bB	106,6 bAB	134,46 aA	107,24 b
CR/CMAP	146,02 aA	166,34 aA	150,14 aA	137,69 aA	150,05 a

As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. SR/SMAP – Sem rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/SMAP - Com rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/CMAP - Com rolo destorroador/com mecanismo acondicionador de palha;

A presença do MAP associado ao rolo destorroador foi a condição que apresentou maior ReO, pois quando esteve presente implicou em maior demanda de potência e interferiu na área de solo mobilizado com a redução da mesma, resultado em uma ReO significativamente maior em relação a condição somente sem e com rolo destorroador apenas. Entretanto, mais estudos necessitam ser realizados acerca do MAP no que diz respeito a pressão de atuação para não haver interferência na mobilização de solo e força de tração sem deixar de manter a palha na superfície.

6.2.12 Índice de força

O IF representa a relação entre a ReO operacional e o índice de cone médio. O índice de cone utilizado na determinação do IF foi a média das leituras da profundidade de atuação dos ED, 0,20 – 0,30m. A resistência à penetração média na profundidade referida foi de 2.327kPa para o EDRI e 2.314kPa para o EDP, sendo estas utilizadas para o cálculo do IF.

Observa-se na tabela 33 que não houve diferença significativa no IF dos ED, denotando que a compactação do solo teve a mesma influência sobre os ED. Isso fica evidente pois as tendências observadas para o IF foram as mesmas ReO, mostrando que houve homogeneidade na resistência à penetração do solo da área experimental, mesma constatação efetuada por Camacho (2002) ao avaliar o IF de associações de hastes parabólicas e disco duplo.

Tabela 33 - Índice de força para a interação entre os fatores elemento descompactador e acondicionamento de palha.

Elemento descompactador	Acondicionamento de palha			Médias
	SR/SMAP	CR/SMAP	CR/CMAP	
EDRI	0,0428 aB	0,0448 aB	0,0740 aA	0,0539
EDP	0,0481 aA	0,0478 aA	0,0554 bA	0,0504
Médias	0,0455 B	0,0462 B	0,0647 A	-

As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. EDRI – Elemento descompactador reto inclinado; EDP – Elemento descompactador parabólico. SR/SMAP – Sem rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/SMAP - Com rolo destorroador/sem mecanismo acondicionador de palha; CR/CMAP - Com rolo destorroador/com mecanismo acondicionador de palha;

Já nos níveis do fator acondicionamento de palha, na condição com rolo e MAP houve uma elevação maior para o EDRI em relação ao EDP, isso muito em função da maior demanda de tração que produziu uma elevada ReO para este ED. Na tabela 34 estão apresentados os IF para a interação entre os fatores ED e distância do disco para o ED.

Tabela 34 - Interação entre os fatores elemento descompactador e distância do disco para o elemento descompactador para a variável Índice de força.

Elemento descompactador	Distância do disco para o ED (m)			
	Sem disco	1,00	0,50	0,01
EDRI	0,0507 aA	0,0569 aA	0,0526 aA	0,0553 aA
EDP	0,0456 aB	0,0453 aB	0,0469 aB	0,0639 aA
Médias	0,0481 B	0,0511 AB	0,0497 B	0,0596 A

As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. EDRI – Elemento descompactador reto inclinado; EDP – Elemento descompactador parabólico.

Houve uma tendência de aumento do IF com a presença de disco de corte de palha à frente dos ED, entretanto esta diferença não foi significativa entre os níveis. Camacho (2002) comparou o IF de associações de hastes parabólicas e disco de corte à frente das mesmas e também não observou diferença significativa entre as condições com disco duplo de corte e haste e sem disco duplo de corte e haste. Entretanto, quando se observa a distância de 0,01m comparativamente a condição sem disco, nota-se que há um significativo aumento do IF com a aproximação do disco em relação ao ED, sendo mais evidente para o EDP. Em contrapartida, mais estudos necessitam ser realizados no sentido de entender a relação do disco com os diferentes mecanismos mobilizadores de solo.

6.2.13 Avaliação complementar de desempenho

Com base nas observações diretas sistemáticas, participante e em equipe, destacadas na tabela 35, foram apontados alguns fenômenos para cada concepção.

Tabela 35 - Observações diretas sobre as concepções propostas e suas combinações de princípios de solução.

*	Disco de corte	Rolo destorreador	MAP	Observações
1	Ausente	Ausente	Ausente	Pela ausência de disco de corte, ocorre o arraste da palha presente na superfície provocando o seu acúmulo nos elementos descompactadores. Ocorre a formação de torrões excessivamente grandes e o relevo fica desuniforme.

2	Presente	Ausente	Ausente	Ocorre a formação de torrões excessivamente grandes e o relevo fica desuniforme e em forma de camalhão.
3	Ausente	Presente	Ausente	Pela ausência de disco de corte, ocorre o arraste da palha presente na superfície provocando o acúmulo de material nos elementos descompactadores.
4	Presente	Presente	Ausente	Ocorre a movimentação lateral da palha na superfície e sua parcial incorporação pelo rolo destorroador.
5	Ausente	Presente	Presente	Pela ausência de disco de corte, ocorre o arraste da palha presente na superfície provocando o acúmulo de material nos elementos descompactadores, mas o relevo apresenta-se com pouca rugosidade superficial
6	Presente	Presente	Presente	Foi observado uma característica de descompactação invisível, com a prensão da palha pelo MAP após o corte e uma uniformização do relevo posteriormente pelo rolo destorroador.

*Concepções; MAP – Mecanismo acondicionador de palha.

Quando foram observadas as distâncias do disco para os ED, observou-se que a aproximação do disco a 0,01m provocou uma oscilação lateral do disco pois ocorria, neste tratamento em específico, a formação de um faturamento do solo entre o disco e o ED formando um bolsão de ar e fazendo com que o mesmo não permanecesse imóvel lateralmente sobre a superfície do solo.

7. CONCLUSÕES

Nas condições deste trabalho, conclui-se que:

- A concepção que obteve melhor desempenho dentre as variáveis estudadas foi a que apresentou disco de corte, rolo destorroador e mecanismo acondicionador de palha, comprovando a primeira hipótese do trabalho.
- A aproximação do disco de corte em relação a haste na distância de 0,01m em média não mostrou-se uma boa alternativa pois foi observado uma oscilação lateral do mesmo, prejudicando o desempenho energético das concepções;
- A presença de rolo destorroador na operação de descompactação mecânica do solo foi fundamental para a redução da área de elevação do solo, favorecendo a uniformização da superfície do solo e reduzindo a necessidade de operações de nivelamento posteriores;
- Os elementos descompactadores apresentaram desempenho semelhante pois não houve diferença estatística significativa para a resistência específica operacional.

8. RECOMENDAÇÕES

- Testar a resistência dos componentes do mecanismo acondicionador de palha;
- Testar a durabilidade e o desgaste do mecanismo acondicionador de palha em operação;
- Ensaiai o mecanismo acondicionador de palha em diferentes condições de campo, como distintos teores de água do solo, quantidades de resíduos culturais e rugosidade superficial a fim de definir novas possibilidades de regulagens do mecanismo;
- Testar uma concepção com a presença do mecanismo acondicionador de palha apenas com disco de corte e sem a presença do rolo destorroador.

9. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Realizar o prosseguimento do projeto conceitual do mecanismo acondicionador de palha;
- Realizar o projeto preliminar e detalhado do mecanismo acondicionador de palha;
- Ensaiai as distâncias do disco em relação aos elementos descompactadores variando-se a velocidade de deslocamento;
- Construir um dispositivo para fixação do disco de corte no elemento descompactador a fim de retirar sua oscilação lateral quando está a 0,01m e comparar as distâncias novamente.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S.L.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 28, p. 519-531, 2004.

AL-ADAWI, S. S.; REEDER, R. C. Compaction and subsoiling effects on corn and soybean yields and soil physical properties. **Transactions of the ASAE**. v.39, n.5, p.1641-1649, 1996.

ALONÇO A. dos S. **Metodologia de projeto para a concepção de máquinas agrícolas seguras**. 2004. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ALVES, R. M. et al. dos. Avaliação das características do sulco de uma semeadora adubadora de plantio direto em diferentes profundidades e velocidades de trabalho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 39., 2010, Vitória. **Anais...** Vitória: Centro de Convenções de Vitória, 2010. 1 CD-ROM.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Uniform terminology for traction agricultural tractor, selfpropelled implements, and other traction and transport devices: **ASAE**. S 296.3. St. Joseph, ASAE Standard, 1987. p.116.

ANDRADE, J. G., et al. Perdas de água por evaporação em milho com semeadura convencional e direta para diferentes níveis de cobertura morta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31, 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: SIBCS, 2007.

ANDRADE, J.G. **Influência dos resíduos vegetais na superfície do solo na dinâmica de evaporação da água e temperatura do solo**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 92f., 2010.

ANDRADE, R. da S.; STONE, L. F.; da SILVEIRA, P. M.. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.4, p.411–418, 2009.

ARAÚJO A.G., et al. Identificação das restrições para expansão do plantio direto na região da represa de Itaipu. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PEQUENA PROPRIEDADE, 3., 1998, Pato Branco. **Trabalhos apresentados**. Pato Branco : IAPAR, 1998. 18p.

ARAÚJO, A. G.; RODRIGUES, B. N. Manejo mecânico e químico da aveia-preta e sua influência sobre a taxa de decomposição e o controle de plantas daninhas em semeadura direta de milho. **Revista Planta Daninha**, v. 18, p. 151-160, 2000.

ARAUJO, E. S. et al. Quantificação do N do solo derivado das raízes da soja utilizando o isótopo ¹⁵N. **Revista Universidade Rural**, v. 24, n. 01, p. 7-12, 2004.

ARVIDSSON, J.; BÖLENIUS, E.. Effects of soil water content during primary tillage – laser measurements of soil surface changes. **Soil & Tillage Research**, v. 90, p. 222–229, 2006.

ARVIDSSON, J.; HILLERSTRÖM, O.. Specific draught, soil fragmentation and straw incorporation for different tine and share types. **Soil & Tillage Research**, v. 110, p. 154–160, 2010.

BACK, N. **Metodologia de projeto de produtos industriais**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1983, 389p.

BACK, N., et al. **Projeto integrado de produtos**: planejamento, concepção e modelagem. Editora Manole, Barueri, SP, 2008.

BACK, N.; OGLIARI, A. **Desenvolvimento de produto**: aspectos gerais. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000, 24p. Apostila.

BALBUENA, R. H.; MENDEVIL, G. O.; RESSIA, J. M. Cobertura del suelo y características de labor de escarificadores con cuchillas circulares y rejas convencionales. In: BALBUENA, R. H.; BENEZ, S. H.; JORAJURÍA, D. **Ingeniería rural y mecanización agrária em el âmbito Latinoamericano**. La Plata: Editorial de la U. N. L. P., 1998. p. 137-142.

BARROSO NETO, E.. **Desenho industrial**: desenvolvimento de produtos – oferta brasileira de entidades de projeto e consultoria. Brasília: CNPQ/Coordenação editorial, 1982.

BARZEGAR, A.R., et al.. Soil physical characteristics and chickpea yield responses to tillage treatments. **Soil and Tillage Research**, v. 71, p. 49–57, 2003.

BAUMHARDT, U. B.. **Metodologia para concepção de cabines de máquinas agrícolas com enfoque na segurança e ergonomia**. Tese (Doutorado em Engenharia agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012, 258p..

BELLÉ, M. P., et al.. Demanda energética e mobilização do solo com o uso de escarificadores em sistemas de semeadura direta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n. 5, p. 551-558, 2014.

BELLÉ, M. P. **Desempenho de elementos descompactadores para escarificação em sistema de semeadura direta**. Dissertação (Mestrado em Engenharia agrícola – Mecanização agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

BELLÉ, M. P., et al.. A decisão de escarificar. **Revista Cultivar Máquinas**, ed. 132, p. 6-9, 2013.

BELLÉ, M. P., et al.. Fatores de influência no projeto de máquinas para tratamento de Semente. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola CLIA/CONBEA, 41, Londrina, PR, 2012, **Anais...** Londrina: SBEA, 2012. 1 CD-ROM.

BELTRAME, L. F. S. Avaliação do desempenho de três subsoladores em Latossolo Vermelho Escuro. **Revista Engenharia agrícola**, v. 7, n.1, p. 37 - 52, 1983.

BEULTER, A. N.; CENTURION, J. F.. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 581-588, jun. 2004.

BIANCHINI, A. **Desenvolvimento teórico experimental de disco de corte dentado passivo para corte de palhão em cana-de-açúcar**. Tese de doutorado (Doutorado em Engenharia Agrícola – Mecanização agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

BIANCHINI, A.; MAGALHÃES, P. S. G. Disco dentado para corte de palhadas. Passo Fundo, RS: Aldeia Norte Editora, **Revista Plantio Direto**, Ano XII, ed. 74, 2003.

BIANCHINI, A., et al.. Comportamento operacional de um escarificador de hastes parabólicas em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 395-401, 1999.

BLAINSKI, E., et al.. Qualidade física de um latossolo sob plantio direto influenciada pela cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 79-87, 2012.

BONOTTO, G. J.; NÖLLER, D. S.; ROMANO, L. N.; DURIGON, R.; ALONÇO, A. dos S. Fatores de influência no projeto de um amostrador de solo. In: XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2011, Cuiabá - MT, **Anais...** Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, Brasil, 2011, CDROM.

BOER, C.A., et al.. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1269-1276, 2007.

BORGES, P. H. de M., et al.. Fuerza en la barra de tracción en función del índice de cono. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 39., 2010, Vitória. **Anais...** Vitória: Centro de Convenções de Vitória, 2010. 1 CD-ROM.

BOTTA, G., et al.. Perfil de la compactación producida por el tráfico en un Suelo bajo el sistema de siembra directa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Mabu Hotel & Resort, 2001. 1 CD-ROM.

BOTTA, G.F., et al.. Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annuus L.*) yields. **Soil and Tillage Research**, v. 1, p. 164-172, 2006.

BOWEN, J. E.; KRATKY, B. A. **Compactación del suelo**: agricultura de las Américas, v. 6 p. 10- 14, 1985.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J.. Cobertura do solo por resíduos de oito sequências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 91-98, 1990.

BRANDELERO, E. M.; ARAÚJO, A. G. de; RALISCH, R.. Mobilização do solo e profundidade de semeadura por diferentes mecanismos para o manejo do sulco de semeadura em uma semeadora direta. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.2, p.263-272, 2014.

CAMACHO, J. H.; MAGALHÃES, P. S. G. Estudio de parámetros operacionales de discos dobles y cinceles parabólicos para prácticas culturales en áreas con residuos vegetales. **Agricultura técnica**, Chile, v. 64, p. 58-65, 2004.

CAMACHO, J. H.. **Mobilização do solo utilizando combinações de discos duplos e hastes parabólicas para práticas de cultivo**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2002, 79p..

CAMARA, R.K.; KLEIN, V.A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 789-796, 2005a.

CAMARA, R.K.; KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Revista Ciência Rural**, v.35, p.813-819, 2005b.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Esalq, 1997. 132p.

CARTER, M.R. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. **Canadian Journal for Soil Science**, v. 70, p. 425- 433, 1990.

CARVALHO FILHO, A., et al. Mobilização de um latossolo vermelho acriférrico em função de sistemas de preparo do solo. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 3, p. 1-7, 2008.

CARVALHO FILHO, A., et al. Agregação de um Latossolo vermelho submetido a cinco sistemas de preparo do solo em Uberaba - MG. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, Jaboticabal, 2007.

CARVALHO, A. B. de A.. **Gestão de Projetos Cooperados no Desenvolvimento de Máquinas e Implementos Agrícolas no Brasil: uma abordagem entre empresa, clientes e fornecedores**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 105p., 2008.

CARVALHO, F.L.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de doses e formas de manejo do resíduo cultural de trigo na redução da erosão hídrica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 227-234, 1990.

CARVALHO, M.A.R.. **Efeito da cobertura do solo e de práticas de controle de erosão nas perdas de água e solo por escoamento superficial**. 2009. 120f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

CASÃO JUNIOR, R. Máquinas e qualidade de semeadura em plantio direto. Passo Fundo, RS: **Revista Plantio Direto**, Aldeia Norte Editora, ed. 96, 2006.

CASÃO JUNIOR, R. et al. **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina/Foz do Iguaçu: Instituto Agrônômico do Paraná - ITAIPU Binacional, 2006. 212 p.

CEPIK, C. T. C. **Análise do desempenho de uma haste sulcadora de semeadora-adubadora, em diferentes teores de água no solo, velocidades e profundidades de trabalho**. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002, 76f.

CERETTA, A.C. et al. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Revista Ciência Rural**, v.32, n.1, p.49-54, 2002.

CHANG, C. S. et al. A laboratory study on conservation tillage performance. In: International conference on agricultural engineering. **Anais...**, Milan, v.2, p. 582-583, 1994.

CHANG, H. Ci; DONALD, C. E. Cornstalk residue shearing by rolling coulters. **Transaction of the ASAE**. St. Joseph , v.29, n.6, p.1530-1535, 1986.

CHIEPPE JÚNIOR, J.B. et al. Efeitos de níveis de cobertura do solo sobre a produtividade e crescimento da cultura do feijoeiro irrigado, em sistema plantio direto. **Revista Irriga**, Botucatu, v.12, n.2, p.177-184, 2007.

COLET, M. J. et al. Alteração em atributos físicos de um solo sob pastagem após escarificação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 361-368, 2009.

CONTE, O., et al. Resistência mecânica do solo e força de tração em hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 730-739, 2008.

CONTE, O., et al. Soil disturbance index as an indicator of seed drill efficiency in no-tillage agrosystems. **Soil & Tillage Research**, v. 114, p. 37-42, 2011.

CONTE, O. et al. Demanda de tração, mobilização do solo na linha de semeadura e rendimento da soja, em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1254-1261, 2009.

CORTEZ, J. W. et al. Parâmetros de avaliação no solo, na máquina e na planta sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, ed. 98, 2007.

COSTA, F. S. et al. Propriedades físicas de um latossolo bruno afetadas pelos sistemas plantio direto E preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 527-535, 2003.

CRUZ, J. C. et al. **Cultivo do milho**: Sistema plantio direto. Comunicado Técnico nº 51, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 2002, 7p..

CRUZ, J. C. et al. Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 13-24, 2001.

DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A.; SANTI, A.. Falhas na implementação do sistema plantio direto levam a degradação do solo. **Revista Plantio Direto**, v. 18, p. 33-34, 2008.

DERPSCH, R.; FRIEDRICH, T. Global Overview of Conservation Agriculture Adoption. Proceedings, Lead Paper, 4th World Congress on Conservation Agriculture, pp. 429-438. 4-7 February 2009, New Delhi, India.

DERPSCH, R. **Programa manejo e conservação do solo**. FUNDAÇÃO CARGILL, ed. Plantio direto do Brasil, Campinas, p. 1-12, 1984.

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. Circular 73, 2 ed, Londrina: IAPAR, 1992. 78 p.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN F. X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 7, p. 761-773, 1985.

DRAGHI, L.M. et al. Diferencias de las condiciones mecánicas de un suelo arcilloso sometido a diferentes sistemas de labranza. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 120- 124, 2005.

DRESCHER, M. S. et al. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1713-1722, 2011.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2ª Ed. Rio de Janeiro, 212 p., 1997.

ESPINDOLA, J.A.A. et al. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.321-328, 2006.

FEBRAPDP – Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação, 2012.
<http://www.febrapdp.org.br> consultado em dezembro de 2015.

FERNANDES, H. C.; SILVEIRA, J. C. M.; RINALDI, P. C. N. Avaliação do custo energético de diferentes operações agrícolas mecanizadas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1582-1587, 2008.

FERREIRA, A. B. H.. **Novo dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. 2 ed. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1986.

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; LIMA, S. L.. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 947-953, 2003.

FRANCETTO, T. R. et al. Comportamento operacional de associações entre sulcadores e discos de corte para sistema de semeadura direta. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 542-554, 2015.

FRANCETTO, T.R. **Desempenho de mecanismos de corte dos resíduos culturais e abertura de sulco para a semeadura direta**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014, 126p.

FURLANI, C,E,A,; LOPES, A,; TIMOSSI, P,C, Manejo: trituradores e roçadoras. **Revista Cultivar Máquinas**, Pelotas, n.18, p. 27-29, 2003.

FURLANI, C. E. A. et al. Desempenho operacional de uma semeadora-adubadora de precisão, em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 388-395, 2004.

GABRIEL FILHO, A. et al. Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 781-789, 2004.

GADANHA JÚNIOR, C. D. et al. **Máquinas e implementos agrícolas do Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991, 468p.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; BRITO, E.C. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho-Amarelo na região noroeste fluminense-RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1421-1428, 2007.

GAMERO, A. C.; **Desempenho operacional de um subsolador de hastes com curvatura lateral (“paraplow”), em função de diferentes velocidades de deslocamento e profundidades de trabalho**. Botucatu – SP, 2008. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2008.

GAMERO, C. A. et al. Decomposição da aveia preta (*Avena strigosa* Schre.) manejada com rolo faca e triturador de palhas, In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1997, Campina Grande, **Anais...** Campina Grande: Sociedade de Engenharia Agrícola, 1997, 1 CDROM.

GAMERO, C. A.; LANÇAS, K. P.. Ensaio & certificação das máquinas de mobilização periódica do solo. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: Ensaio & Certificação**. Piracicaba: FEALQ, p. 463-514, 1996.

GARCIA, L. C. et al. Rolo destorroador após a semeadura do trigo. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, Jaboticabal, 2008.

GASSEN, J. R. F.. **Avaliação de ferramenta para escarificação do solo em camadas de forma simultânea**. Tese de doutorado (Doutorado em Engenharia Agrícola – Mecanização Agrícola) – Programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

GASSEN, J. R. F. et al. Resistência específica à tração na operação de escarificação do solo em camadas de forma simultânea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 116-124, 2014.

GERMINO, R. **Atuação de forças em hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras para plantio direto**. 2004. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2004, 97 f.

GIRARDELLO, V.C. et al. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2115-2126, 2011.

GODWIN, R. J.; SPOOR, G. Soil failure with narrow tines. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v. 22, p.213-228, 1977.

GODWIN, R.J.. A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. **Soil & Tillage Research**, v. 97, p. 331–340, 2007.

GRISSE, R. D.; KOCHER, M. F.; VAUGHAN, D. H.. Predicting tractor fuel consumption. **Applied Engineering in Agriculture** - American Society of Agricultural Engineers (ASAE), v. 20, n. 5, p. 553–561, 2004.

GRISSE, R. D.; VAUGHAN, D. H.; ROBERSON, G. T.. Fuel prediction for specific tractor models. **Applied Engineering in Agriculture** - American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), v. 24, n.4, p. 423-428, 2008.

GUBIANI, P.I.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Indicadores hídrico-mecânicos de compactação do solo e crescimento de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1-10, 2013.

HECKLER, J. C.; SALTON, J. C. **Palha: fundamento do Sistema Plantio Direto**. Embrapa Agropecuária Oeste. Coleção sistema plantio direto, Dourados, MS, 2002, 26p.

HEINZ, R. et al. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crambe e nabo forrageiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.9, p.1549-1555, 2011.

HERZOG, R. L. da S.. **Resposta da soja em semeadura direta após aveia preta implantada em campo nativo, influenciada por quantidade de resíduo, irrigação e profundidade de atuação do sulcador da semeadora-adubadora.** 2003. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003, 83p..

HUBKA, V.; EDER, E. W. **Design science: introduction to needs, scope and organization of engineering design knowledge.** 2 ed., Great Britain, Springer-Verlag London Limited, 1996, 251p.

HUGGINS, D.R.; REGANOLD, J.P.. No-till: the quiet revolution. **Scientific American**, v. 77, p.1–8, 2008.

KLEIN, V. A.. **Desenvolvimento de haste escarificadora em área sob plantio direto.** Santa Maria, RS, 95p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, sub área Mecanização Agrícola) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, 1990.

KUSHWAHA, R. L.; VAISHNAV, A. S.; ZOERB, G. C.. Performance of powered-disc coulters under no-till crop residue in soil bin. **Transactions of the ASAE**, v. 29, n. 1, p. 40-44, 1986.

LAFLEN, J.M.; AMEMIYA, M.; HINTZ, E.A. Measuring crop residue cover. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 36, p. 341-343, 1981.

LAL, R.. Constraints to adopting no-till farming in developing countries. **Soil & Tillage Research**, v. 94, n.1, p.1–3, 2007.

LANÇAS, K.P. **Subsolador: desempenho em função de formas geométricas de hastes, tipos de ponteiras e número de hastes.** 1988. 171p. Tese (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1988.

LANÇAS, K.P. **Subsolador: desempenho em função de formas geométricas de hastes, tipos de ponteiras e velocidade de deslocamento.** 1987. 112f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, SP.

LEVIEN, R. et al. Força de tração em haste sulcadora tipo facão, operando a duas profundidades em solo com e sem vegetação de campo nativo, na presença e ausência de disco de corte de palha. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 33, São Pedro. **Anais...**São Pedro: SBEA, 2004, CD-Rom.

LEVIEN, R. et al. Semeadura direta de milho com dois tipos de sulcadores de adubo, em nível e no sentido do declive do terreno. **Ciência Rural**, v.41, n.6, 2011.

LINO, J. S.. **Evolução do sistema plantio direto e produção de sedimentos no Rio Grande do Sul.** 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências – Solos e Nutrição de

Plantas), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 118p., 2010.

LIU, S.P. et al. Comprehensive evaluation of tillage and straw returning on wheat yield and quality in a wheat-rice double cropping system. **Journal of Triticeae Crops**, v. 27, p. 859-863, 2007.

MACHADO, A. L. T. et al. **Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais**. Pelotas: Editora Universitária UFPel, 2005.

MACHADO, R.L.T. et al. Estudo de parâmetros físicos em solo de várzea, antes e após a escarificação. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 2, n. 3, p. 175-178, 1996.

MAGLEBY, R.S.; SCHERTZ, D.L. Conservation tillage chalksup steady gains. **Agric.Eng.**, v.67, n.2, p.14-6, 1988.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M.. **Fundamentos da metodologia científica**. 6ª edição. São Paulo: editora Atlas S.A., 315p. 2009.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M.. **Técnicas de pesquisa**: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados. 6ª edição. São Paulo: editora Atlas S.A., 289p. 2007.

MARINI, V.K. **Fatores de Influência e Funções Técnicas no Projeto de Máquinas Agrícolas:Uma Contribuição Teórica**. 164 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2007.

MÁRQUEZ, L. **Maquinaria agrícola**. 1ª edição, p. 93 a 267. Madrid. 2004.

MÁRQUEZ, L. **Tractores Agrícolas: Tecnología y Utilización**. Espanha: B&H Grupo Editorial, 2012. 844p.

MARTUCCI, F.G. Escarificador no preparo do solo. **A Granja**, v. 6, p.44-46. 1985.

MAZIERO, J.V.G. et al. Efeito da patinagem da roda motriz de um trator agrícola na compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v.56, n.1, p.1-11, 1997.

MCKYES, E.; MASWAURE, J.. Effect of design parameters of flat tillage tools on loosening of a clay soil. **Soil & Tillage Research**, v. 43, p. 195-204, 1997.

MENEZES, P. C. de.. **Semeadura cruzada de soja em sistemas de manejo do solo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, MT, 71f., 2013.

MENEGATTI, F.A. **Desenvolvimento de sistema de dosagem para agricultura de precisão**. Florianópolis, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 296f, 2004.

MENTGES, M.I. et al. Propriedades físico-hídricas do solo e demanda energética de haste escarificadora em Argissolo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 315-321, 2010.

MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz - FEALQ, 722p., 1996.

MINITAB. MINITAB Release 16: Meet MINITAB 16. MINITAB StatGuide; MINITAB Help. [S.l.]: Minitab., 2007.

MONTGOMERY DC. **Introdução ao controle estatístico de qualidade**. 4.ed. Rio de Janeiro: LTC; p.220-48, 2004.

NICHOLS, M.L.; REED, I.F.; REAVES, C.A. Soil reaction to plowshare design. **Agricultural Engineering**, v.39, p.336-339, 1958.

NIETIEDT, G.H.; FRANTZ, U.G.; SILVA, E.N.; ROMANO, L.N.; SCHLOSSER, J.F. Definição dos fatores de influência no processo de desenvolvimento de uma máquina semeadora adubadora de precisão. In. IX Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola, Vitória, ES, Brasil, Anais... Vitória, ES, Centro de Convenções de Vitória, 2010, CDROM.

NUNES, M. R. et al. Persistência dos efeitos da escarificação sobre a compactação de Nitossolo sob plantio direto em região subtropical úmida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 7, p. 531-539, 2014.

OGLIARI, A. **Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plástico injetados**. 1999, Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999, 349p.

OLIVEIRA, G. C. et al. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 291-299, 2003.

ORTIZ-CANĀVATE, J. **Las maquinas agrícolas y su aplicación**. 5 ed. Madrid, Mundi-Prensa, 1995. 465p.

ORTIZ-CAÑAVATE, J.; HERNANS, J.L. **Técnica de la mecanizacion agraria**. 3 ed. Madrid, Mundi-Prensa, 1989.

PAHL, G. et al. **Projeto de engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. Tradução Hans Andreas Werner, Editora Edgard Blücher, São Paulo, 2005.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design: a systematic approach**. 2. ed., Great Britain: Springer-Verlag London Limited, 1996, 544p.

PEREIRA, F. F. S. et al. Retenção de água em níveis de cobertura morta no feijoeiro irrigado em sistema plantio direto. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 3, p. 557-568, julho-setembro, 2015.

PERES, J.G.; SOUZA, C.F.; LAVORENTI, N.A.. Avaliação dos efeitos da cobertura de palha de cana-de-açúcar na umidade e na perda de água do solo. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 875-886, 2010.

PINESE JÚNIOR, J.F.; CRUZ, L.M.; RODRIGUE, S.C. Monitoramento de erosão laminar em diferentes usos da terra. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.20, n.2, p.157-175, 2008.

PIRES, F. R. et. al. Manejo de plantas de cobertura antecessoras à cultura da soja em plantio direto. **Revista Ceres**, v. 55, n. 2, p. 94-101, 2008.

PONTES, J.R.V. et al. Efeito da escarificação e do manejo da vegetação espontânea na produtividade da cultura da soja, visando a implantação do sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Mabu Hotel & Resort, 2001. 1 CD-ROM.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Um guia do conjunto de conhecimentos do gerenciamento de projetos**. (PMBOK®Guide). Pennsylvania: Project management institute, 2000.

RAPER, R. L. Force Requirements and Soil Disruption of Straight and Bentleg Subsoilers for Conservation Tillage Systems. **ASAE Annual International Meeting / CIGR XV World Congress Sponsored by ASAE and CIGR Hyatt Regency Chicago**. Chicago, Illinois, USA, July, 2002.

RAPER, R. L.; BERGTOLD, J. S.; SCHWAB, E. B.. Effect of row proximity to in-row subsoiled zones on cotton productivity. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 24, p. 573-579, 2008.

RAPER, R. L.; GRIFT, T. E.; TEKESTE. M. Z.. A portable tillage profiler for measuring subsoiling disruption. **American Society of Agricultural Engineers**, v. 47, p. 23-27, 2004.

RAPER, R. L. et al. Tillage depth, tillage timing, and cover crop effects on cotton yield, soil strength, and tillage energy requirements. **Applied Engineering in Agriculture**. v. 16, p. 379-385, 2000.

RAPER, R. L. et al. Effect of annual, biennial, and triennial in-row subsoiling on soil compaction and cotton yield in southeastern u.s. silt loam soils. **Applied Engineering in Agriculture**. American Society of Agricultural Engineers, v. 21, p. 337-343, 2005.

- REIS, A. V.. **Desenvolvimento de concepções para a dosagem e deposição de precisão de sementes miúdas**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003, 277f..
- REIS, A. V.; FORCELLINI, F. A. Identificação de requisitos de clientes para o projeto de um dosador de precisão para sementes miúdas. **Revista Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 309-320, 2006.
- RÍPOLI, T.C.; MIALHE, L.G.; NAKAMURA, R.T. **Subsolagem e subsoladores**. Piracicaba: Centro Acadêmico Luiz de Queiroz, Departamento Editorial, 1985. 34p.
- ROMANO, L. N. **Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas**. Florianópolis, 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.
- ROSA JÚNIOR, E. J. **Efeito de sistemas de manejo da cultura do milho (Zea mays L.) em um Latossolo Roxo na região de Dourados, MS**. 2000. Tese (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2000. 112 f.
- ROSA, D. P. et al. Esforços e mobilização provocada pela haste sulcadora de semeadora, em Latossolo escarificado em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 396-400, 2008.
- ROSIM, D.C. et al. Compactação de um latossolo vermelho distroférico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p. 502-508, 2012.
- ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S. Potassium leaching from millet straw as affected by rainfall and potassium rates. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.36, p.1063-1074, 2005.
- ROZENFELD, H. et al. **O processo de desenvolvimento de produtos**. In. Fábrica do futuro, 1 ed. São Paulo: Editora Banas, cap. 6, p. 55-64, 2000.
- RUSSINI, A. **Projeto, construção e teste de Instrumentação eletrônica para avaliação do desempenho de tratores agrícolas**. Santa Maria, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 313-319, 1995.
- SALVADOR, N. BENEZ, S. H.; MION, R. L. Demanda energética na subsolagem realizada antes e depois de diferentes sistemas de preparo periódico do solo. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2501-2505, 2009.

SALVADOR, N.; BENEZ, S. H.; MION, R. L. Consumo de combustível na operação de subsolagem realizada antes e depois de diferentes sistemas de preparo periódico do solo. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, p. 256-262, 2008.

SANTOS, A. C.. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos alimentícios – PDPA com ênfase no projeto do processo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004, 180f..

SANTOS, A. J. M. et al. Desempenho de discos de corte de semeadora-adubadora em diferentes quantidades de cobertura vegetal. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 4, p.17-30, 2010.

SANTOS, A. P.; VOLPATO, C. E. S.; TOURINO, M. C. C.. Desempenho de três semeadoras-adubadoras de plantio direto para a cultura do milho. **Ciência agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 540-546, 2008.

SANTOS, C. C. et al. Subsolador com disco de corte de palha x subsolador convencional: manutenção da palha e condição física de um solo sob plantio direto. **RAMVI**, Getúlio Vargas, v. 1, n. 1, 2014.

SANTOS, D. J.. **Relatório palestra zillor**. Faculdade de Tecnologia de Pompéia – Fatec Pompéia, 28p., 2013.

SASAKI, C. M.; GONÇALVES, J. L. M.; Desempenho operacional de um subsolador em função da estrutura, do teor de argila e de água em três latossolos. **Scientia forestalis**, v. 69, p.115-124, 2005.

SCHULER R.L.; WOOD R.K.. Soil compaction. In **Conservation Tillage Systems and Management**. v. 9, p. 42-45. Ames, Iowa: MidWest Plan Service, 1992.

SECCO, D. et al. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, v.39, p.58-64, 2009.

SEKI, A. S. **Demanda energética e produtividade da soja e do milho em áreas de plantio direto e cultivo mínimo**. 2010, 130 f. Tese (Doutorado em Agronomia)- Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, campus de Botucatu, Botucatu.

SIBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Santos, H. G. dos et al. Brasília, DF, Embrapa, 3ª edição, 353p., 2013.

SILVA, F. DE A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.4, p.71-78, 2002.

SILVA, P. R. A. et al. Profundidade de penetração dos discos de corte de semeadoras em diferentes tipos de cobertura vegetal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36, 2007, Bonito. **Anais...** 2007. 1 CD-ROM.

SILVA, S. L. **Projeto e construção de um sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de máquinas e implementos agrícolas.** 1997. 148f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

SILVEIRA, G.M. **O preparo do solo: implementos corretos.** Rio de Janeiro: Globo, 1988. 243p.

SIMÕES, D.; SILVA, M. R.; FENNER, P. T. Desempenho operacional e custos da operação de subsolagem em área de implantação de eucalipto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 5, p. 692-700, 2011.

SPOOR, G.; GODWIN, R. J. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. **Journal of Agricultural Engineering Research**. v. 23, p. 243-258, 1978.

STAFFORD, J.V.; TANNER, D.W. An investigation into the effect of speed on the draught requirements of a chisel tine. In: Conference of the International soil tillage Research Organisation. National Institute of Agricultural Engineering, Bedfordshire, 1976.

STEMMER, C. E. **Projeto de e construção de máquinas: regras gerais de projeto, elementos de máquinas.** Porto Alegre: Globo, 1974

STEWART, B. A. et al. Sustaining the soil resource base of an expanding world agriculture. **Transactions**. 14th International Congress of Soil Science, Kyoto, Japan, v. 2 p. 296-301, 1990.

SUZUKI, L. E. A. S., et al. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Revista Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.42, n.8, p.1159-1167, 2007.

SWAN, J.B.; KASPAR, T.C.; ERBACH, D.C. Seed-row residue management for corn establishment in the northern US Corn Belt. **Soil & Tillage Research**, v. 40, p. 55-72, 1996.

THEISEN, G.; BIANCHI, M.A. Semeadura com pouco revolvimento de solo como auxílio no manejo de plantas daninhas em milho. **Revista Planta Daninha**, Viçosa, MG, v.28, n.1, p.93-102, 2010.

TICE, E. M.; HENDRICK. Disc coulter operating characteristics. **Transaction American Society of Agricultural Engineers**. St. Joseph, v. 35, n. 1, p. 3-10, 1992.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. D.. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 573-581, 1998.

TORMENA, C.A. et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista Scientia Agricola**, v. 59, p. 795-801, 2002.

TORMENA, C.A. et al. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, p. 65-71, 2004.

TORRES, J. L. R. et al. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 609-618, 2005.

TORRES, J.L.; PEREIRA, M.G.; FABIAN, A.J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.3, p.421-428, 2008.

ULLMAN, D. G. **The mechanical design process**. Singapore: McGraw-Hill Book Co.,1992, 337p.

VALERIANO, D. L.. **Gerência em projetos: pesquisa, desenvolvimento e engenharia**. São Paulo: Makron Books, 1998.

VASCONCELOS, R.F.B. et al. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 309-316, 2010.

VILDE, A.; CESNIEKS S.; RUCINS A. Minimisation of soil tillage. Polish Academy of Sciences Branch in Lublin. TEKA Commision of Motorization and Power Industry in Agriculture, Volume IV. Lublin, Poland, 237–242, 2004.

YSHIMINE, P. **Avaliação de algumas forças que atuam em um subsolador utilizado no preparo de solo agrícola**. 1993. Tese (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1993. 94f.

ANEXOS

ANEXO 1: Análise estatística completa (ANOVA) do experimento com a comparação entre as médias das variáveis e os resultados do Teste F de comparação de variâncias.

Fatores	Variáveis											
	FMBT	Ch	PMBT	Ce	CeO	Am	Ae	Emp.	ReO	IF	IPS	Pat
Unidade	kN	l h ⁻¹	kW	l kW h ⁻¹	l kW h m ⁻²	cm ²	cm ²	%	kN m ⁻²	-	%	%
ED												
EDRI	10,34a	12,25a	18,15a	0,83b	9,87b	863,0 a	142,60	16,96	125,2	0,0539	68,96	21,60a
EDP	5,95b	10,08b	10,46b	1,10a	21,31a	526,4 b	89,03	17,03	116,4	0,0504	65,60	14,16b
AP												
SR/SMAP	7,78b	11,02	13,65b	0,99b	14,85b	758,73a	171,30a	23,60a	105,3b	0,0455b	60,32c	16,17b
CR/SMAP	7,52b	11,40	13,20b	1,07a	17,01a	723,22a	90,13b	12,77b	107,2b	0,0462b	65,17b	16,35b
CR/CMAP	9,15a	11,21	16,06a	0,84c	14,92b	602,15b	89,25b	14,61b	150,0a	0,0647a	76,36a	21,13a
D												
SD	7,48b	10,73b	13,13b	0,99a	16,02	695,09	136,04a	19,74a	111,4b	0,0481b	57,16c	14,62
D1	8,12b	11,24ab	14,25b	0,99a	15,06	705,50	102,85b	14,83b	118ab	0,051ab	74,42a	19,95
D2	7,66b	10,72b	13,45b	1,00a	16,81	679,39	117,7ab	16,54ab	115,2b	0,0497b	71,10a	18,42
D3	9,33a	12,06a	16,38a	0,87b	14,48	698,82	110,9ab	16,86ab	138,3a	0,0596a	66,44b	18,52
CV	34%	18%	34%	24%	44%	29%	52%	49%	32%	32%	19%	47%
MG	8,15	11,21	14,31	0,97	15,60	207,44	116,90	17,00	120,85	0,05	67,28	17,88
DP	2,83	2,06	4,97	0,24	6,86	694,71	61,88	8,43	39,03	0,01	12,82	8,48
Teste F												
ED (F1)	447,1**	324,3**	234,4**	22,26*	178,57**	122,41**	17,57**	0,001 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,84 ^{ns}	2,30 ^{ns}	19,4*
AP (F2)	20,16**	1,14 ^{ns}	20,07**	50,63**	9,49**	30,56**	77,82**	48,87**	27,24**	27,75**	83,51**	7,05*
D (F3)	12,01**	8,98**	12,04**	8,64**	2,14 ^{ns}	0,20 ^{ns}	3,04*	2,89*	4,53**	4,46**	41,40**	1,49 ^{ns}
F1 X F2	11,85**	61,09**	11,08**	33,89**	21,70**	10,32**	0,24 ^{ns}	10,20**	9,99**	10,12**	12,85**	1,37 ^{ns}
F1 X F3	0,26 ^{ns}	10,75**	0,36 ^{ns}	10,85**	3,45*	1,31 ^{ns}	2,86 ^{ns}	4,11*	2,97*	3,07*	3,65**	0,63 ^{ns}
F2 X F3	8,49**	7,25**	8,34**	4,90**	0,96 ^{ns}	0,10**	2,66*	4,17*	4,07**	4,21**	1,45 ^{ns}	1,28 ^{ns}
F1XF2XF3	1,42 ^{ns}	1,31 ^{ns}	1,31 ^{ns}	8,02**	1,61 ^{ns}	0,65 ^{ns}	2,35 ^{ns}	4,28*	1,21 ^{ns}	1,18 ^{ns}	18,25**	0,39 ^{ns}

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ED – Fator Elemento descompactador (F1); EDRI – Elemento Descompactador Reto Inclinado; EDP – Elemento Descompactador Parabólico; AP – Fator Acondicionamento de Palha (F2); SR/SMAP – Sem Rolo Destorroador/Sem Mecanismo Acondicionador de Palha; CR/SMAP – Com Rolo Destorroador/Sem Mecanismo Acondicionador de Palha; CR/CMAP – Com Rolo Destorroador/Com Mecanismo Acondicionador de Palha; D – Fator Distância do Disco para o Elemento Descompactador (F3); SD – Sem disco de corte de palha; D1 – Distância de 1,00 m do disco de corte para o ED; D2 - Distância de 0,50 m do disco de corte para o ED; D3 - Distância de 0,01 m do disco de corte para o ED.