

Análise do Modo e Efeito de Falhas (FMEA) no desenvolvimento de semeadora multifuncional conservacionista para a agricultura familiar.

Daniel Albiero <daniel.albiero@gmail.com>

Antonio José Silva Maciel <amaciel@feagri.unicamp.br>

Marcos - Milan <macmilan@usp.br>

Renildo Luis Mion <rmion@ufc.br>

Carlos Alberto Viliotti <viliotti@ufc.br>

Resumo: A agricultura familiar no Brasil tem grande importância, no entanto não existem muitas máquinas agrícolas para este setor que tenham elevado desempenho. Neste trabalho procurou-se desenvolver uma semeadora multifuncional conservacionista com desempenho no processo de semeadura semelhante à máquinas modernas. Para tanto foi utilizada a metodologia da Análise do Modo e Efeito de Falhas no Projeto (DFMEA) no desenvolvimento de um protótipo. Foi elaborada a Tabela FMEA e foi discutido com uma equipe multidisciplinar as potenciais falhas, possíveis consequências, o que determinaram as falhas críticas assim como ações corretivas. Pela análise do DFMEA, melhorias no projeto e eliminação de falhas serão realizadas antes da construção do protótipo, o que economizará tempo e custos.

Palavras-chave: FMEA; Agricultura familiar; Projeto e Desenvolvimento.

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) in development of a multifunctional conservationist seeder for the small farms.

Abstract: The brazilian small farm have a great importance, however they there are many agricultural machines for this sector which they have good performance. In this paper is showed a multifunctional conservationist seeder with performance in sowing similar at the modern seeders. Therefore it was used the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for the development of a prototype. It was done the FMEA Table and it was discussed with a multidisciplinary team the fails, the consequences, what the critical fails as well as the corretive actions. For the analysis of DFMEA, improvements in project and elimiation of fails will be to carried before the construction another prototype.

Keywords: FMEA; small farms; Development and Project.

1. Introdução

A Agricultura familiar no Brasil ocupa em área 24% de toda a terra utilizada do Brasil, mas efetivamente somente utilizam 49% desta área. As propriedades com áreas menores do que 50 ha estas ocupam em torno de 13% de toda a terra utilizada do país, (IBGE, 2006). A maioria destas propriedades é definida por ter mecanização ainda no estágio do trabalho de tração animal ou humana.

O baixo poder aquisitivo dos agricultores familiares é a principal causa da pouca utilização da terra, pois limita a mecanização agrícola que exige um nível econômico mínimo para se poder adquirir, operar e fazer a manutenção dos equipamentos. Esta situação gera uma defasagem muito grande entre as pequenas e grandes propriedades, principalmente em relação a eficiência do trabalho na produção o que perfaz um ciclo onde a agricultura familiar perde a oportunidade de se inserir nas grandes cadeias produtivas do Agronegócio Brasileiro.

A pouca oferta de equipamentos de alto desempenho para este mercado consumidor piora ainda mais a eficiência no sistema produtivo deste setor que é muito importante para a agricultura brasileira, além do que a pequena propriedade tem dificuldades na obtenção de financiamento para maquinaria (embora existam recursos) o que os torna clientes pouco atraentes para a indústria.

Verifica-se a necessidade de resolver de forma acessível o problema da utilização de potência nas propriedades rurais usuárias de tração animal e humana. A melhor abordagem é através do aumento da eficiência dos sistemas de preparo, semeadura e cultivo do solo. Operações essencialmente básicas, tais como preparo de solo, semeadura ou cultivo, nas pequenas propriedades onde a agricultura familiar se desenvolve nem sempre são adequadamente conduzidas.

Supõe-se que dotando a agricultura familiar, usuária de tração animal e humana de um sistema mecanizado que realize as operações de semeadura de forma eficiente e conservacionista é possível resolver a questão da utilização de potência, conseqüentemente aumentando a utilização da terra.

Foram realizadas adaptações e construções de sistemas já desenvolvidos de preparo de solo, distribuição de fertilizantes, semeadura e acabamento de plantio em um chassi projetado e construído para dar suporte à interface entre os diversos elementos. Foram construídos dois protótipos que realizaram testes em campo e em laboratório para a caracterização da nova máquina com dados relativos ao desempenho do equipamento, além de serem realizados experimentos sob condições reais de semeadura.

A Nova Semeadora Multifuncional Conservacionista Novo Dragão foi concebida para ter simplicidade de operação e pouca manutenção, acoplada a um motocultor para a semeadura de soja, milho, feijão. O desenvolvimento dos protótipos foi realizado em função da cultura da soja que possui dados exaustivos sobre sistemas de plantio conservacionista (plantio direto), facilidade para montagem do experimento e principalmente pela extrema eficiência do mecanismo dosador em distribuir as sementes de soja. Foi realizada a Análise do Modo de falha e seus efeitos (FMEA) para propor modificações otimizadoras do projeto.

O objetivo deste trabalho é apresentar o DFMEA (*Design FMEA*) realizado no segundo protótipo da Nova Semeadora Multifuncional Conservacionista (NSMC).

2. Referencial teórico

2.1 Considerações gerais

Uma solução para a mecanização da pequena propriedade brasileira é desenvolver uma máquina de cultivo conservacionista econômica e leve que possa ser acoplada a um motocultor (2 rodas) ou um micro-trator (4 rodas), com menos de 30 cv (22 kW) (MACIEL, 2004). Isto acarretaria no aumento da eficiência dos sistemas de preparo, plantio e cultivo do solo, operações essencialmente básicas que nas pequenas propriedades onde a agricultura familiar se desenvolve não são adequadamente conduzidas. Outro ponto importante e paralelo a este problema é a questão ambiental. Neste contexto a solução é a adoção de sistemas de

preparo, plantio e cultivo do solo que sejam conservacionistas e principalmente, adaptados à agricultura familiar (MACIEL, 2004).

A NSMC, Figura 1, (ALBIERO, 2006) foi desenvolvida inicialmente para as culturas de milho, soja e feijão. O milho e o feijão foram escolhidos pelo motivo da agricultura familiar ser responsável por 46% e 70%, respectivamente, de toda produção nacional destes produtos (MDA, 2010), no caso da soja o objetivo é possibilitar que os pequenos agricultores participem da produção da leguminosa de maior expressão econômica do planeta (CÂMARA, 2000), aumentando sua participação na produção total, que atualmente é de 16% segundo o MDA(2010).

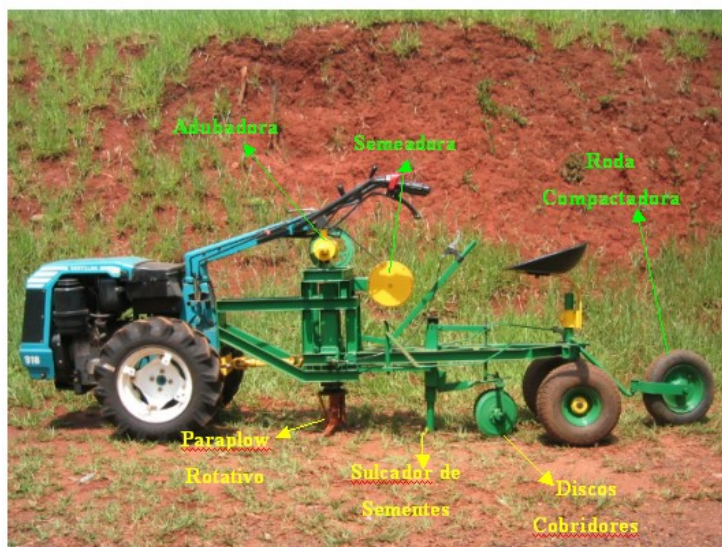


FIGURA 1 – Nova Semeadora Multifuncional Conservacionista (NSMC), Protótipo 1 (ALBIERO, 2006).

Foram realizadas avaliações da nova máquina em campo e laboratório que determinaram modificações da mesma, o que gerou o protótipo 2, significativamente melhor (ALBIERO, 2010), Figura 2.

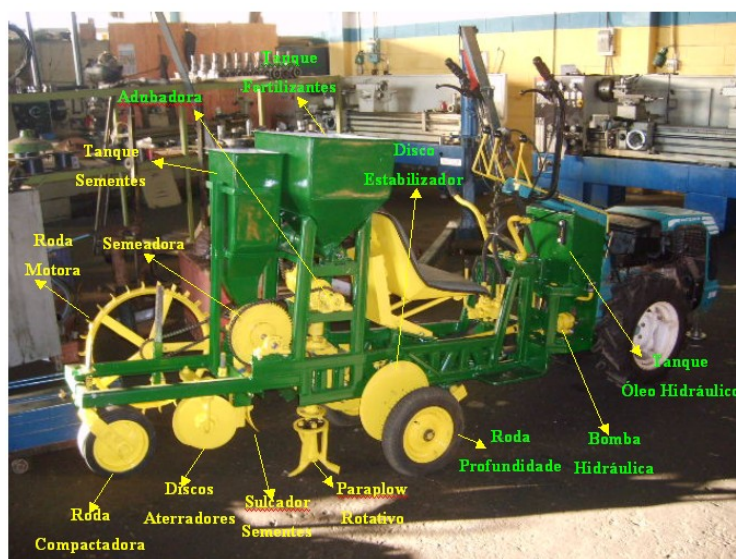


FIGURA 2 – Nova Semeadora Multifuncional Conservacionista (NSMC), Protótipo 2 (ALBIERO, 2010).

2.2 Análise de Falhas e Qualidade

Segundo Helman e Andery (1995) nos processos de comercialização de bens e serviços a instituição da garantia de fábrica é um fator preponderante para “tranquilizar” o cliente. No sentido de minimizar a insatisfação devida alguma falha do produto ou serviço, no entanto o maior interesse do cliente é que o produto não falhe. Neste contexto Campos (2007) afirma que é de fundamental importância o aprimoramento de operações agrícolas devido a sua influência direta sobre a germinação, desenvolvimento e produtividade das plantas e embora o conceito de qualidade seja recente na agricultura ele é altamente aplicável, uma vez que as operações agrícolas são interdependentes e a qualidade de uma afeta a subsequente.

Pauli et al. (2009) afirma que quantificar todos os fatores que influem nas operações agrícolas é uma tarefa complexa, portanto é necessário concentrar esforços nos fatores que trarão resultados esperados com melhor eficiência e eficácia. Assim a utilização de ferramentas de qualidade é essencial para garantir o desempenho adequado de um processo em função de fatores críticos.

Segundo Helman e Andery (1995) à medida que resultados indesejados dos processos – problemas ou falhas – são percebidos, atua-se metodicamente sobre eles para achar a sua causa fundamental e bloqueá-la. Segundo Hines et al. (2006) virtualmente todos os processos do mundo real apresentam variabilidade cuja causa é resultado de mudanças nas condições sob os quais são feitas as observações, estas mudanças podem advir de diferenças no material, na maneira que as pessoas fazem o trabalho, diferenças ambientais, desgaste, modificações nos sistemas de medidas, etc. O método FMEA (do inglês *Failure Mode and Effect Analysis*) pode auxiliar eficientemente na etapa de elaboração do plano de ação para o bloqueio da variabilidade.

2.3 Análise do modo e efeito de falhas (FMEA).

Segundo Toledo e Amaral (2008) a metodologia de análise do modo e efeito de falha, conhecida como FMEA, é uma ferramenta que busca evitar por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria, que ocorram falhas no projeto de um produto ou processo. O objetivo básico desta metodologia é aumentar a confiabilidade (probabilidade de falha do produto/processo).

A IQA (1997) define FMEA como um método que identifica os modos de falhas potenciais e a criticidade destes efeitos de falhas na funcionalidade do produto e pode ser dividido em duas seções distintas: projeto e processo.

O FMEA de projeto (DFMEA-*Design FMEA*) é um método preventivo que tem como objetivo assegurar que durante o projeto do produto, os modos de falhas potenciais e suas causas/mecanismos associados sejam considerados e abordados. Devendo ser iniciado antes ou na finalização do projeto conceitual e concluído quando na finalização do projeto detalhado e liberação para a ferramentaria.

O produto final, subsistemas, componentes e sistemas relacionados são os objetos de estudo nesta fase, que considera como “cliente”, além do usuário final, os engenheiros e equipes responsáveis pelo projeto. Os principais benefícios do DFMEA segundo Coimbra (2003) são: 1-auxiliar na avaliação objetiva dos requisitos do projeto e das soluções alternativas; 2-considerar os requisitos de manufatura e montagem no projeto inicial; 3-aumentar a confiabilidade do produto; 4-reduzir a necessidade de modificações de projeto; 5-melhorar o planejamento de qualidade; 6-permitir o melhoramento contínuo no produto.

Segundo Milan (2002) estudos e experiências com a aplicação de conceitos e técnicas

de qualidade na área agrícola ainda existem em pequena escala, no entanto a sobrevivência da empresa agrícola está ligada à implantação de novas técnicas administrativas baseadas na gestão de qualidade.

Neste enfoque existem exemplos de trabalhos que abordam o FMEA na área agrícola. Campos (2007) utilizou a técnica FMEA para identificar os pontos críticos na produção de cana de açúcar, Matos (2004) aplicou FMEA para a definição dos pontos críticos no processo de beneficiamento de madeira em uma empresa de pequeno porte o que permitiu analisar o impacto de cada falha potencial crítica neste processo e propor ações de melhoria, Coimbra (2003) adotou o FMEA para a implantação de um sistema de gestão ambiental e testou o método em quatro indústrias cerâmicas de revestimento nas suas principais etapas de produção.

3. Metodologia

A análise de efeitos e modos de falha foi realizada seguindo as recomendações de Teng e Ho (1996) e Teng et al. (2006) que prescrevem que um FMEA deve: 1- Definir do escopo da análise em função da resolução e foco dos estudos; 2- Preparar o fluxograma do projeto/processo, mostrando as relações entre subsistemas e subprocessos; 3- Identificar os possíveis modos de falha (que tipo e como estas falhas ocorrem); 4- Identificar as causas destas falhas; 5- Analisar o efeito desta falha; 6- Classificar a severidade; 7- Classificar a ocorrência; 8- Determinar a detecção; 9- Calcular o NPR; 10- Definir as falhas críticas; 11- Recomendar ações corretivas, a Figura 3 apresenta este procedimento:

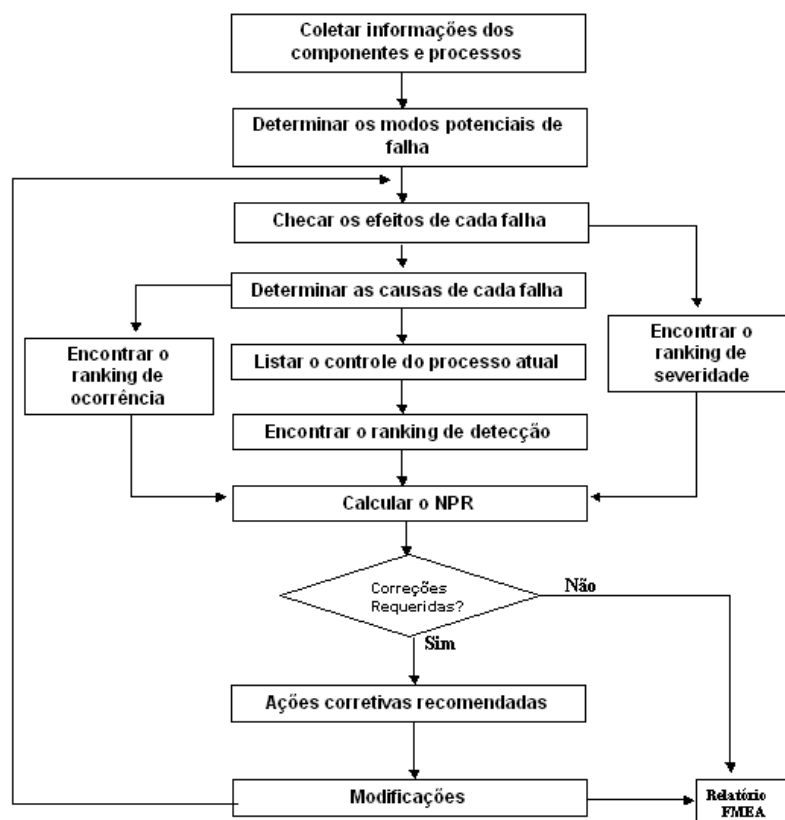


FIGURA 3 – Fluxograma do procedimento para realização do FMEA (TENG & HO, 1996), tradução do autor.

Para a estruturação do FMEA foi adotado um formulário adaptado de QAI (2009), apresentado nas Tabelas seguintes.

TABELA 1 - Cabeçalho do formulário FMEA.

1	2	3	4	5	6	7	8
Sub-Processo	Funções	Elementos Principais atuantes	Requisitos Exigidos	Modo potencial de falha	Efeito da falha potencial	Severidade	Classe

TABELA 2 - Continuação do formulário FMEA.

9	10	11	12	13	14	15	16
Causa potencial	Ocorrência	Controle preventivo atual	Controle corretivo atual	Deteção	R.P.N.	Ações recomendadas	Observações

O cálculo do Número Prioritário de Risco (NPR) (14) é realizado através da equação seguinte.

$$\text{NPR} = \text{Sv} \times \text{Oc} \times \text{Dt}$$

Onde: Sv é a severidade da falha;
 Oc é a ocorrência da falha;
 Dt é a deteção da falha;
 NPR é o número prioritário de risco.

As classificações de critérios de riscos são apresentada na TABELA 3 e

TABELA 4 extraídas de Toledo e Amaral (2008), e TABELA 5 extraída de Elsmar (2009).

TABELA 3 - Grau de severidade da falha (TOLEDO & AMARAL, 2008).

Índice	Severidade	Critério
1	Mínima	O cliente mal percebe que a falha ocorreu
2	Pequena	Ligeira deterioração no desempenho com leve descontentamento do cliente
3		
4	Moderada	Deterioração significativa no desempenho de um sistema com descontentamento do cliente
5		
6		
7	Alta	Sistema deixa de funcionar e grande descontentamento do cliente
8		
9	Muito Alta	Idem ao anterior porém afeta a segurança
10		

TABELA 4 - Capacidade de deteção da falha (TOLEDO & AMARAL, 2008).

Índice	Deteção	Critério
1	Muito Grande	Certamente será detectado
2	Grande	Grande probabilidade de ser detectado
3		
4	Moderada	Provavelmente será detectado
5		
6		
7	Pequena	Provavelmente não será detectado
8		

9

Muito Pequena

Certamente não será detectado

10

A classificação de ocorrência adotada é apresentada por ELSMAR (2009) na TABELA 5.

TABELA 5 - Classificação de ocorrência (ELSMAR, 2009).

Ocorrência	Taxas de falhas possíveis	Cpk	Ranking
Muito alta: falha é quase inevitável	≥ 1 em 2	<0,33	10
	1 em 3	≥ 0,33	9
Alta: falhas repetitivas	1 em 8	≥ 0,51	8
	1 em 20	≥ 0,67	7
Moderada: falhas ocasionais	1 em 80	≥ 0,83	6
	1 em 400	≥ 1,00	5
	1 em 2.000	≥ 1,17	4
Baixa: relativamente poucas falhas	1 em 15.000	≥ 1,33	3
	1 em 150.000	≥ 1,50	2
Remota: falhas são raras	≤ 1 em 1.500.000	≥ 1,67	1

Considerando o escore máximo de 10 pontos segundo Toledo e Amaral (2008), tem-se a seguinte classificação:

- 01 – 207 – Pouquíssima Prioridade (PP)
- 208 – 407 – Baixa Prioridade (BP)
- 408 – 607 – Média Prioridade (MP)
- 608 – 807 – Alta Prioridade (AP)
- 808 – 1000 – Total Prioridade (TP)

Neste trabalho cada ítem de pontuação (severidade, ocorrência e detecção) teve escore variando de 1 a 10, portanto foi adotada a classificação de Toledo e Amaral (2008). A escolha dos índices em função das tabelas apresentadas foi baseada na opinião da equipe de especialistas, alunos e convidados escalada para a realização do FMEA. Após uma breve descrição de cada ítem de avaliação e suas funções, eram elencadas por todos as possíveis falhas, assim como as causas, severidades, ocorrências e detecção das mesmas. Os escores eram dados em função de pontuações individuais dadas por cada membro da equipe, estes escores eram transcritos em uma planilha, então era discutido o escore global dado pela equipe, sendo exigido unanimidade entre todos da equipe para ser dado o escore final.

TABELA 5 - Equipe multidisciplinar para elaboração do DFMEA da NSMC.

Nome	Formação	Especialidade	Vínculo ao Projeto
Daniel Albiero	D.Sc. Eng. Agrícola	Engenheiro de Desenvolvimento	Coordenador
Antonio José da Silva Maciel	D. Sc. Eng. Agrícola	Avaliação de Máquinas Agrícolas	Coordenador
Vitor Batisti Wanderlei	Eng. Elétrico	Engenheiro de Qualidade	Convidado
Paulo Krejci Nunes	Técnico em mecânica	Projetos agrícolas	Aluno de iniciação científica
Guilherme Itamaranqui Penellupi Magalhães	Técnico em mecânica	Projetos agrícolas	Aluno de iniciação científica
Gustavo Nery Dutra de Castro	Técnico em química	Gestão e manutenção de máquinas agrícolas	Aluno de iniciação científica

Renan Damir Tunussi	Técnico em mecânica	Avaliação de máquinas agrícolas	Aluno de iniciação científica
Otto Wolf Maciel	Médico	Clínico Geral	Convidado

4. Resultados e discussão

4.1. Escopo, foco, tabela DFMEA

Este trabalho foi centrado na análise do processo de semeadura de soja realizada pela NSMC, a resolução alcançada foi em termos dos seguintes sub-processos constituintes, apresentados em ordem de ocorrência na semeadura:

1. Operação da NSMC: Acoplamento das marchas motocultor; Regulagens iniciais da semeadora (sulcador sementes, engrenagens adubadora/semeadora, discos aterradores, discos estabilizadores, roda compactadora, regulagem assento operador, regulagem guidon motocultor; Controle do sistema hidráulico da roda elevadora; Acesso aos comandos do motocultor e semeadora; Manutenção diária do motocultor e semeadora (óleo de motor/óleo diesel/filtro de ar/pressão pneus/graxa/óleo hidráulico); Abastecimento do reservatório de adubos; operação dos freios de mão; segurança do operador; Abastecimento do reservatório de sementes; manutenção de velocidade operacional adequada;
2. Transmissão de Potência rotativa da TDP para o “paraplow” rotativa: segurança do operador; flexibilidade nas manobras; manutenção do cardan e manutenção do redutor;
3. Corte das plantas daninhas: corte superficial das plantas daninhas; corte subsuperficial das raízes; eliminação de embuchamentos na parte superior do “paraplow” rotativo; eliminação de embuchamentos na parte inferior do “paraplow” rotativo; lançamento radial das plantas daninhas;
4. Corte de resíduos superficiais: corte dos resíduos superficiais; lançamento radial dos resíduos; eliminação de dos resíduos;
5. Espalhamento dos resíduos superficiais: realizar a cobertura de resíduos uniformemente no sulco de semeadura;
6. Preparo da subsuperfície do solo: formação da área de semeadura com geometria trapezoidal; eliminação de torrões; geração da cama de sementes adequada; eliminação de espelhamento de sulco;
7. Escarificação lateral da faixa de semeadura: escarificação realizadas; geração de área de fissuras com geometria trapezoidal; eliminação da elevação de torrões;
8. Controle de direção da semeadora: controle de deriva devido ao torque gerado pelo “paraplow” rotativo; corte de resíduos superficiais; direcionamento da semeadora; regulagem de profundidade;
9. Geração de potência rotativa pela roda motora da semeadora: eliminação de patinagem; regulagens da relação de transmissão; regulagens da pressão sobre o solo;
10. Distribuição de fertilizantes: distribuição realizada de forma homogênea; eliminação de cavernas no volume de adubo; eliminação de blocos de adubo; distribuição realizada de forma contínua;
11. Transporte do fertilizante do sistema dosador até o solo: eliminação de incrustações; homogeneização dos grânulos pelo “paraplow” rotativo;
12. Distribuição de sementes: distribuição realizada de forma homogênea e adequada; neutralização de efeitos da vibração;
13. Transporte de sementes do dosador até o solo: eliminação de efeitos retardadores de queda das sementes;

14. Sincronização dos sistemas de dosagem de sementes/fertilizantes: adequação das relações de transmissão; facilitação de troca da relação de transmissão; adequação das composições de dosagens de sementes e adubos;
15. Deposição das sementes no sulco de semeadura: adequação da deposição no sulco; regulagem de profundidade do sulco de semeadura; formação de geometria do sulco adequada; eliminação de sementes encastadas;
16. Regulagem de profundidade: regulagem da profundidade de operação da semeadura;
17. Aterramento das sementes: aterramento das sementes realizada de forma adequada; ausência de embuchamentos nos discos aterramentos; regulagens dos discos;
18. Compactação do solo sobre as sementes: compactação realizada de forma adequada; regulagens de pressão das rodas compactadoras; inexistência de selamento superficial.

Os principais focos pretendidos neste estudo são relativos a determinar as potenciais falhas nas áreas de: segurança, manutenção, operação e resultado final.

Sub-Processo	Funções	Elementos Principais atuantes	Requisitos exigidos	Modo potencial de falha	Efeito da falha potencial	Severidade	Classe	Causa Potencial	Ocorrência	Controle atual do projeto	Controle preventivo atual	Controle corretivo atual	Defeito	R.P.M.	Ações recomendadas	observações
Operação do Novo Dragão	operação dos freios de mão	Operador + Motocultor	operação rápida e eficiente	não funciona	acidente	10	Carac. Crit.	defeito no projeto das alavancas, conduites e freios	10	n	não	3	300	reprojetar o freio	TP	
Compactação do solo sobre as sementes	compactação realizada de forma adequada	Roda Compactadora	compactação adequada	compactação insuficiente ou excessiva	não germinação e diminuição de produtividade	8	Carac. Sign.	regulagem inadequada e projeto inadequado	3	n	regulagem	3	648	modificação do projeto, simplificação das regulagens	AP	
Distribuição de Fertilizantes	eliminação de blocos de adubo	Distribuidor de rosca helicoidal cônica + distribuidor de mola convencional	inexistência de blocos	formação de blocos e possível dano ao mecanismo, desuniformidade, dano ao sistema	quebra do mecanismo, não adubação, e quebra do mancal	8	Carac. Sign.	adubo inadequado e umidade alta,	8	adubo de qualidade, armazenamento e controle de umidade	penetração do adubo	10	640	penetração na parte superficial do reservatório, mudança da geometria do mecanismo	AP	
Operação do Novo Dragão	manutenção de velocidade operacional adequada	Operador + Motocultor	velocidade constante	perda de velocidade, perda de produção e embuchamento, forçar a máquina	perda de produção	7	Carac. Sign.	patinação, falta de lastro, escalonamento de marchas	10	n	lastro	3	630	lastro, troca de motocultor	AP	
Deposição das sementes no sulco	regulagem de profundidade de sulco de semeadura	Sulcador Tipo Chisel	regulagens práticas, rápidas e adequadas	profundidade incorreta	diminuição da produtividade e emergência	8	Carac. Sign.	regulagens difíceis	8	n	regulagem	8	512	desenvolver novo sistema de regulagem através de deslizamento do sulcador e travamento através de parafuso	MP	
Transmissão de potência rotativa da TDP para o Paraplow	manutenção redutor	Cardan + Redutor	manutenção prática, rápida e adequadas	desgaste e quebra das engrenagens	para a máquina, travar motor	8	Carac. Sign.	falta de manutenção, pingando,	7	n	trocar retentor	3	504	proteger o retentor, retentor de boa qualidade, retentor duplo, bloqueio do sistema se faltar óleo	MP	
Transmissão de potência rotativa da TDP para o Paraplow	manutenção cardan	Cardan + Redutor	manutenção prática, rápida e adequadas	difícil acesso, difícil manutenção	quebra do cardan	8	Carac. Sign.	excesso de proteção	10	n	n	6	480	criar bancada, janelas de inspeção, check list, manutenção preventiva	MP	
Geração de potência rotativa pela roda motora da semeadora/adubadora	evitar patinação	Roda Motora	inexistência de patinação	patinação	espaçamentos, distribuição e alimentação de sementes e adubos realizados incorretamente	8	Carac. Sign.	falta de contato com o solo	10	n	regulagem	6	480	reprojeto e mecanismo de regulagem melhor, geometria da roda melhor, mecanismo flexível, roda maior,	MP	
Controle de direção da semeadora	regulagem de profundidade	Discos estabilizadores	regulagens práticas, rápidas e adequadas	não praticidade	embuchamento, machucar o operador, dificuldade de	3	Carac. Crit.	erro de projeto	10	n	epi	5	450	mudar o projeto, colocar a regulagem mais acessível, e uso de epi, treinamento do	MP	

FIGURA 4 – Tabela parcial do DFMEA da NSMC (tabela completa em ALBIERO (2010)).

4.2. Falhas críticas

Em função da Figura 4, foram elencadas as falhas críticas, assim como feita a análise e discussão de causas, efeitos, modos e sugestão de correções.

TABELA 6 - Falhas críticas em função da prioridade de risco.

Falha Potencial	NPR	Classe
1-Freios de mão não funcionam	900	TP
2-Compactação realizada de forma inadequada	648	AP
3-Blocos de adubo atrapalhando a uniformidade e danificando o mecanismo	640	AP
4-Velocidade operacional inconstante	630	AP
5-Regulagem da profundidade de deposição das sementes	512	MP
6-Difícil acesso e manutenção do redutor	504	MP

7-Patinagem da roda motora de acionamento da semeadora/adubadora	480	MP
8-Difícil acesso e manutenção do cardan	480	MP
9-Discos estabilizadores do controle de direção de difícil regulagem	450	MP

1. A falha potencial com maior risco é em relação ao não funcionamento dos freios de mão. Esta falha ocorre principalmente a uma não conformidade de uso do sistema de freios, estes foram previstos para operação em auxílio a manobras de curva, mas em vez disto o operador pode usá-los como meio de parada da máquina. Dependendo da situação de relevo em que a máquina se encontre (uma descida), o operador pode se valer dos freios de mão para parar o motocultor, nesta situação existe o sério risco de acidente com vítimas, pois o sistema de freios de mão não foi projetado para parar a máquina.
2. A segunda falha mais importante é relativa a compactação do sulco de semeadura que feita de forma inadequada compromete seriamente a germinação das plântulas. Esta falha pode ocorrer devido a uma má regulagem da pressão da mola do sistema de roda compactadora, além de problemas relativos ao posicionamento do pivô da mesma devido a especificidades operacionais o que pode levá-la a travar em uma posição inadequada.
3. Esta falha independe do processo de distribuição de fertilizantes, pois depende da qualidade do adubo utilizado, assim como da umidade relativa do ar no momento da semeadura.
4. O fato da velocidade operacional ser inconstante está diretamente ligada a problemas de patinagem excessiva das rodas motoras do motocultor que está ligado a falta de lastro e pouco peso líquido da máquina. Outra dimensão desta falha está associada ao escalonamento de marchas do motocultor que não possui uma adequada composição de velocidades com torques no eixo motor o que ocasiona a utilização de marchas inadequadas.
5. A regulagem da profundidade de deposição das sementes é realizada de maneira muito difícil devido ao posicionamento e tipo de mecanismos de regulagens.
6. Devido a necessidade de proteção do operador e adequação estrutural, o redutor é localizado em região de difícil acesso para manutenção e inspeção.
7. A deslizamento da roda motora é um falha relacionada com a falta de contato ou pouca pressão desta roda sobre o solo, a principal causa disto é a inadequação das regulagens do mecanismo da roda motora da semeadora/adubadora.
8. Devido a necessidade de proteção do operador, o cardan da transmissão TDP/redutor é localizado em região de difícil acesso para manutenção e inspeção.
9. Os discos estabilizadores foram posicionados de tal forma que a regulagem é muito difícil e podem até machucar o operador.

4.3.Recomendações de ações corretivas

1. Freios de mão não funcionam: Reprojeto dos freios de mão para atuarem também como freios de parada.
2. Compactação realizada de forma inadequada: Modificação do projeto para evitar o travamento do pivô da roda e facilitar a regulagens de pressão.
3. Blocos de adubo atrapalhando a uniformidade de distribuição e danificando o mecanismo: Esta falha se refere a condições externas ao processo, como solução poderia-se utilizar uma peneira para retirar blocos rígidos de adubos antes deste serem depositados no reservatório.
4. Velocidade operacional inconstante: Para se eliminar esta falha é preciso adotar lastros líquidos e sólidos nas rodas motoras da NSMC e adoção de outro motocultor com escalonamento de marchas adequado.

5. Regulagem da profundidade de deposição das sementes: Modificação do projeto do sistema de regulagem de profundidade do sulcador de sementes, além de adoção de um sistema de seguimento de perfil de solo.
6. Difícil acesso e manutenção do redutor: Bastaria o projeto e adoção de janelas de inspeção que possibilitariam acesso a estas regiões de difícil acesso.
7. Patinação da roda motora de acionamento da semeadora/adubadora: Modificação do projeto de regulagens da roda motora, além de um sistema de seguimento de perfil de solo.
8. Difícil acesso e manutenção ao cardan da transmissão semeadora/adubadora: Projeto e adoção de janelas de inspeção e manutenção na estrutura de proteção do cardan.
9. Discos estabilizadores do controle de direção de difícil regulagem: Reprojeto do posicionamento dos discos estabilizadores.

5. Considerações Finais

A análise dos modos de falha e seus efeitos possibilitaram propostas de melhorias no processo de semeadura e projeto da máquina. O FMEA teve como equipe um grupo de especialistas heterogêneos, dentre doutores, engenheiros, especialistas de qualidade, técnicos e convidados. Este grupo possibilitou uma análise ampla e detalhada nos diversos aspectos do projeto realizado. As falhas críticas foram elencadas e soluções definitivas e mitigadoras foram propostas em função da gravidade dos efeitos. Pela análise do DFMEA, melhorias no projeto e eliminação de falhas serão realizadas antes da construção de um terceiro protótipo.

6. Agradecimento

O primeiro autor deste trabalho agradece ao CNPq pela bolsa de doutorado e a FINEP pelo financiamento do projeto.

Referências

ALBIERO, D. *Avaliação do Preparo de Solo empregando o sistema de Cultivo Conservacionista em Faixas com "Paraplow" Rotativo usando Análise Dimensional*. 321 p. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2006.

ALBIERO, D. *Desenvolvimento e avaliação de máquina multifuncional conservacionista para agricultura familiar*. 244 p. Tese de doutorado – Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2010.

CÂMARA, G. M. S. *Soja: Tecnologia da produção II*. Piracicaba: ESALQ/LPV, 2000.

CAMPOS, C. M. *Identificação e avaliação de variáveis críticas no processo de produção de cana-de-açúcar*. 89 p. Dissertação de mestrado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2007.

COIMBRA, M. M. *Aplicação da análise de modo e efeitos de falha potencial (FMEA) para avaliação de significância de aspectos e impactos ambientais na indústria cerâmica*. 176 p. Dissertação de mestrado – Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2003.

ELSMAR. FMEA. <[http:// www.elsmar.com](http://www.elsmar.com)>, 30/03/2009.

HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. *Análise de falhas: aplicação dos métodos de FMEA e FTA*. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1995.

HINES, W. W.; MONTGOMERY, D. C.; GOLDSMAN, D. M.; BORROR, C. M. *Probabilidade e estatística na engenharia*. 4^o Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS (IBGE). Censo Agropecuário 2006. <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric> >, 08/12/2009

INSTITUTO DE QUALIDADE AUTOMOTIVA (IQA). Manuais QS-9000. São Paulo: IQA, 1997.

MACIEL, A. J. S. Tema Transversal, Linha de Pesquisa Modernização da Mecanização da Agricultura Familiar: Projeto Desenvolvimento e Construção de uma Máquina de Plantio Empregando o Sistema de Cultivo Conservacionista em Faixas com "Paraplow" Rotativo visando a Mecanização nas Pequenas Propriedades Rurais. Convênio FINEP-FUNCAMP-FEAGRI, Número 3158, firmado em Novembro de 2004. 2004.

MATOS, R. B. *Indicadores de desempenho para beneficiamento de madeira serrada em empresas de pequeno porte: um estudo de caso.* . 117 p. Dissertação de mestrado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2004.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO (MDA). Cartilha sobre a Agricultura familiar, Censo Agropecuário 2006. < <http://www.mda.gov.br/index.php>>, 15/03/2010

MILAN, M.; FERNANDES, R. A. T. Qualidade das operações de preparo de solo por controle estatístico de processo. *Scientia Agrícola*, 59: 2002.

PAULI, D. G.; MILAN, M.; SALVI, J. V. Qualidade total. *Cultivar Máquina*, 85: 2009.

QUALITY ASSOCIATES INTERNATIONAL (QAI). Excel Sheet FMEA. <<http://>

<http://www.quality-one.com/services/fmeaEdition4.php>>, 12/03/2009.

TENG, S. G.; HO, S. M.; SHUMAR, D.; LIU, P. C. Implementing FMEA in a collaborative supply chain environment. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 23: 2006.

TENG, S. G.; HO, S. M. Failure mode and effects analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 13: 1996.

TOLEDO, J.C.; AMARAL, D. C. *FMEA – Análise do tipo e efeito de falha*. São Carlos: GEPEQ/UFSCar, 2008.