

GEICE PAULA VILLIBOR

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO PROTÓTIPO DE UMA
ADUBADORA PUNÇIONADORA PARA PLANTIO DIRETO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, para obtenção
do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA

MINAS GERAIS – BRASIL

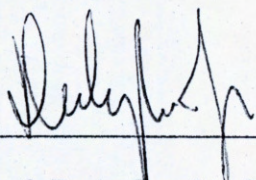
2008

GEICE PAULA VILLIBOR

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO PROTÓTIPO DE UMA
ADUBADORA PUNÇIONADORA PARA PLANTIO DIRETO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, para obtenção
do título de "Magister Scientiae".

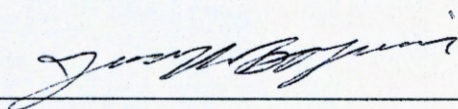
APROVADA EM: 28 de julho de 2008



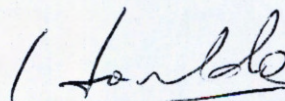
Prof. Darly Geraldo Sena Júnior



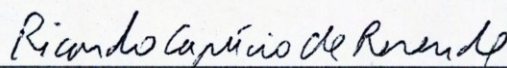
Prof. Luciano Baião Vieira



Prof. Joseph Kalil Khoury Junior



Prof. Haroldo Carlos Fernandes



Prof. Ricardo Capúcio de Resende
(Presidente da Banca)

“O teu êxito, muitas vezes, depende do êxito das pessoas que te rodeiam.”

Benjamin Franklin

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Mauricio Villibor Filho e Dorotéa de Paula Villibor, pela confiança, pelo amor, pela amizade e pela dedicação incondicional.

Ao meu irmão Jansen e aos meus avós pela confiança e pela paciência, durante toda essa jornada, e comumente a todos os outros familiares.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, que abriram as portas dando a oportunidade para a iniciação na vida científica.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento concedido durante o período do curso mais solicitado.

Ao Professor Ricardo Capúcio de Resende, pela atenção contínua, pela amizade, pelos ensinamentos práticos e teóricos, pelos conselhos e pelas oportunidades, e principalmente pela confiança depositada durante todo o percurso.

Ao Professor Francisco de Assis de Carvalho Pinto, pela orientação, pela credibilidade, pelos conselhos e pela confiança dispensada.

Aos Professores Daniel Marçal de Queiroz e Nerilson Terra Santos, pela orientação, pelo estímulo e pela paciência em todos os momentos solicitados.

Ao Professor Haroldo Carlos Fernandes pelo apoio e opiniões relevantes nos momentos certos. Aos Professores Luciano Baião Vieira, Mauri Martins Teixeira, pelos esclarecimentos e pelas sugestões.

Ao indispensável e querido Danilo Roberto Loureiro, pelos conselhos, pela ajuda, pelo apoio, pelo carinho, pelo companheirismo e dedicação em todos os momentos.

Aos funcionários do Laboratório de Mecanização Agrícola Danilo, Vantuil, Geraldo e Marcelo, pela amizade, pelo apoio e pelos seus serviços prestados durante o decorrer do curso.

Aos funcionários José Mauro, Edna, Álvaro, Galinari, Claudenílson e Renato pela amizade, pela ajuda e dedicação.

Aos estagiários Kennedy, Victor, Dênis e Ramon pelo apoio nas coletas de dados e pelo coleguismo.

Aos preciosos amigos ao longo de todo o curso, Francelino, Douglas, Wagner, Willian pelo companheirismo e auxílio em quaisquer momentos.

À Selma, em especial, pela ajuda, pela paciência, pela amizade, pelos conselhos durante todo o curso.

Aos meus amigos e colegas da Mecanização Agrícola Ronaldo, Enrique, Marcus Vinícius, João Cleber, Paula, Gerson, Leonardo Rubim, Diogo, Gislaine, Mário, Renato Ruas, Murilo, Walter, Amanda, Sérgio, Pedro pela amizade dentro e fora da Instituição.

A todos os amigos de Viçosa, em especial ao Guilherme, Alan, Tiago, Nolan e a todos os amigos de Bueno Brandão, em especial a Jacqueline, Cadu, Marcela, pela amizade, pela compreensão e pelos momentos indispensáveis de convivência.

Aos meus demais colegas e amigos por terem sempre me apoiado, e incentivado, em todos os momentos.

BIOGRAFIA

GEICE PAULA VILLIBOR, filha de Dorotéa de Paula Villibor e Mauricio Villibor Filho, nasceu no dia 15 de abril de 1983, na cidade de Bueno Brandão, Minas Gerais.

Cursou a maior parte do ensino médio na Escola Estadual de Bueno Brandão concluindo-o, em dezembro de 2000, no Colégio São José, em Pouso Alegre, MG.

Em abril de 2001, iniciou o curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, concluindo-o em outubro de 2006.

Em outubro de 2006, ingressou no Programa de Pós-graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, na área de concentração em Mecanização Agrícola, submetendo-se à defesa da dissertação em julho de 2008.

SUMÁRIO

RESUMO	
.....	xi
i	
ABSTRACT	xiv
1 - INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 - A cultura do milho e Adubação Nitrogenada	3
2.2 - Plantio Direto e Adubação Nitrogenada	4
2.3 - Adubação Localizada de Fertilizantes Nitrogenados	6
2.4 - Dosadores de Fertilizante Sólidos	9
2.5 – Mobilização do solo por sulcadores presentes nas semeadoras- adubadoras convencionais	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 – Descrição da Adubadora Puncionadora	13
3.2 - Avaliação do sistema dosador e distribuidor de fertilizante em laboratório	15
3.2.1 - Delineamento Experimental	17
3.2.2 - Análise estatística	18
3.2.3 - Caracterização física do fertilizante	20
<i>Massa específica do fertilizante</i>	20
<i>Teor de água do fertilizante</i>	20
<i>Ângulo de repouso do fertilizante</i>	20
<i>Granulometria do fertilizante</i>	21
<i>Diâmetro médio ponderado (DMP) do fertilizante</i>	21
3.3 - Avaliação da adubadora em condições de campo	22
3.3.1 – Determinação da Distância entre Covas	24

3.3.2 – Determinação da Profundidade de Deposição do Fertilizante	24
3.3.3 – Avaliação da Mobilização do Solo	25
3.3.4 - Delineamento Experimental.....	25
3.3.5 - Caracterização Física do Solo da Área Experimental	25
<i>Teor de água no solo</i>	26
<i>Massa específica do solo</i>	26
<i>Resistência do solo à penetração</i>	26
<i>Massa seca da cobertura vegetal</i>	27
4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
4.1 – Avaliação da Adubadora Puncionadora em Condições de Laboratório.....	28
4.1.1 - Avaliação da massa total aplicada pelo sistema dosador de fertilizantes.....	28
4.1.2 – Avaliação da massa aplicada pelo sistema distribuidor-dosador de fertilizantes, em laboratório	33
4.2 – Avaliação da Adubadora Puncionadora em Condições de Campo	38
4.2.1 – Avaliação do efeito do uso de lastro na profundidade de deposição do fertilizante.....	38
4.2.2 – Avaliação da distância entre covas.....	40
4.2.3 – Avaliação da Mobilização do Solo	42
5 – CONCLUSÕES	46
6- SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	47
7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
8- APÊNDICES	52
APÊNDICE A.....	53
APÊNDICE B.....	54
APÊNDICE C.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mecanismo distribuidor de fertilizantes líquido de forma pontual, desenvolvido por Baker (1989).....	7
Figura 2 – Semeadora de precisão, em covas, constituídas por discos em “V” desenvolvida por Resende (2002).....	8
Figura 3 – Mecanismo abridor de covas desenvolvido por Yamamoto (2005) utilizado para adubação nitrogenada de cobertura.....	9
Figura 4 – Dosador helicoidal para fertilizantes sólidos, (a) sistema de transmissão e (b) helicóide (BALASTREIRE, 1987).....	10
Figura 5 – Protótipo da adubadora puncionadora desenvolvida por Yamamoto (2005) e Villibor e Loureiro (2006) utilizada no experimento.	13
Figura 6 – Mecanismo dosador de fertilizantes da adubadora puncionadora desenvolvido por Yamamoto (2005) e Villibor e Loureiro (2006)...	14
Figura 7 - Esquema representativo da variação de fertilizante do mecanismo dosador desenvolvido por Yamamoto (2005): (a) dosador em dose menor e em (b) dosador em dose máxima.	14
Figura 8 – Esquema representativo da bancada de testes utilizada para a avaliação em laboratório da adubadora puncionadora desenvolvida por Yamamoto (2005) e Villibor e Loureiro (2006).....	16
Figura 9 – Coletor de fertilizantes sobre a balança utilizada para a avaliação da adubadora puncionadora desenvolvida por Yamamoto (2005) e Villibor e Loureiro (2006).	17
Figura 10 – Área experimental utilizada para avaliação da adubadora puncionadora.....	22
Figura 11 – Adubadora Puncionadora com um dos lastros utilizados nos testes de campo.....	23
Figura 12 – Detalhe do fertilizante depositado em uma das covas abertas após a passagem da adubadora puncionadora	24

Figura 13 - Quadro de madeira utilizado para a coleta da massa da cobertura vegetal.....	27
Figura 14 – Superfície de resposta para a equação da massa total aplicada em função da velocidade angular e da abertura do sistema dosador .	31
Figura 15 – Mapa de contorno para a equação da massa total aplicada em função da velocidade angular e da abertura do sistema dosador .	31
Figura 16 - Superfície de Resposta da massa de fertilizante distribuída acima da superfície do solo em função da velocidade angular da roda puncionadora e da abertura do sistema dosador	36
Figura 17 – Mapa de contorno do modelo de superfície de resposta ajustado para avaliar o sistema dosador de fertilizante em relação à massa distribuída acima da superfície do solo	36
Figura 18 – Profundidade de deposição de fertilizante em função dos lastros acoplados ao protótipo de uma adubadora puncionadora.....	40
Figura 19 - Gráfico da equação de regressão ajustada da mobilização do solo, ocasionada pelo mecanismo abridor de covas da adubadora puncionadora, em função de diferentes níveis de lastros.....	43
Figura 20 – Imagem adquirida após a passagem da adubadora puncionadora demonstrando a mínima mobilização do solo e da palha em cinco covas	45
Figura 21 – Imagem adquirida após a passagem da adubadora puncionadora demonstrando a mínima mobilização do solo, em duas linhas de adubação.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Principais características físicas do fertilizante utilizado no experimento	28
Tabela 2 –	Distribuição granulométrica do fertilizante utilizado no experimento	28
Tabela 3 -	Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivos testes para significância do modelo ajustado	29
Tabela 4 -	Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivos testes t para os coeficientes do modelo ajustado	29
Tabela 5 –	Massa média de fertilizante aplicada por cova em função da abertura do sistema dosador e das velocidades rotacionais da roda punçionadora	32
Tabela 6 –	Resultados parciais da análise de variância do modelo de superfície de resposta ajustado para a massa de fertilizante distribuída acima da superfície.....	33
Tabela 7 –	Resultados do teste estatístico “t” para os parâmetros estimados do modelo com todas as variáveis para massa aplicada acima da superfície.....	34
Tabela 8 –	Análise da superfície de resposta para o modelo ajustado com as variáveis de efeito significativo para massa distribuída acima da superfície.....	34
Tabela 9 –	Resultados do teste estatístico “t” para os parâmetros estimados do modelo com as variáveis de efeito significativo para a variável de resposta massa aplicada acima da superfície	35
Tabela 10 –	Autovalores e resposta estimada no ponto estacionário da superfície de resposta estimada baseada nos dados codificados	37
Tabela 11 –	Principais características físicas do solo da área experimental	38
Tabela 12 -	Profundidade média de deposição de fertilizante em cada um dos níveis de lastros avaliados	38
Tabela 13 –	Análise de variância da regressão da profundidade de deposição de fertilizante em função dos lastros.....	39

Tabela 14 –	Distância média entre covas em função de diferentes lastros adicionados a adubadora puncionadora	41
Tabela 15 –	Resultados da análise de regressão para a distância entre covas, em função de diferentes lastros	41
Tabela 16 –	Volume de solo mobilizado observado, por cova e por metro linear, em função de diferentes lastros adicionados a adubadora puncionadora	42
Tabela 17 –	Resultados da análise de regressão da mobilização do solo, após a passagem da adubadora puncionadora, em função de diferentes lastros	42

RESUMO

VILLIBOR, Geice Paula, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2008.
Avaliação do desempenho do protótipo de uma adubadora puncionadora para plantio direto. Orientador: Francisco de Assis de Carvalho Pinto. Co-Orientadores: Ricardo Capúcio de Resende, Daniel Marçal de Queiroz e Nerilson Terra Santos.

O Brasil ocupa lugar de destaque na produção de milho, sendo o terceiro maior produtor, no entanto a produtividade é baixa. Esta baixa produtividade pode estar relacionada à adubação nitrogenada incorreta, principalmente nos sistemas de plantio direto. A área brasileira sob o sistema de plantio direto é a segunda maior do mundo. A dinâmica dos nutrientes nestas áreas, especialmente o nitrogênio, torna necessária a adequação das técnicas de aplicação de fertilizantes. A adubação pontual em cobertura é uma alternativa para melhoria da eficiência da adubação nitrogenada, pois pode minimizar as perdas do nitrogênio por volatilização. Com a presente pesquisa objetivou-se avaliar o desempenho de um protótipo de uma adubadora pontual. Avaliou-se o efeito de cinco aberturas do sistema dosador (19,1; 15,0; 11,5; 8,0 e 5 mm), três velocidades angulares da roda puncionadora (2,6; 4,3 e 6,1 rad s⁻¹) e três níveis de fertilizante no reservatório (40, 20 e 13,3L), na massa total aplicada pelo sistema dosador e na massa distribuída pelo sistema distribuidor de fertilizantes, em condições controladas. Objetivou-se também verificar a influência de quatro lastros adicionados a roda puncionadora (0, 25, 40 e 65 kg) na profundidade de deposição do fertilizante, distância entre covas e mobilização do solo. O experimento, em laboratório, foi conduzido num esquema fatorial 5x3x3, no delineamento inteiramente casualizado, no Laboratório de Mecanização Agrícola (UFV). O experimento, em campo, foi realizado no delineamento inteiramente casualizado, na área experimental pertencente à área de Mecanização Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. De acordo com os resultados obtidos, concluiu-se que, o nível de fertilizante no reservatório não teve influência sobre o desempenho do sistema dosador e distribuidor. No entanto, a velocidade angular da roda puncionadora influenciou na massa total de fertilizante aplicada, portanto o mecanismo dosador deve ser calibrado para a

velocidade de trabalho desejada. No entanto, verificou-se que a velocidade ótima de operação é em torno de $3,5 \text{ km h}^{-1}$, na qual a maior parte da massa dosada foi aplicada abaixo da superfície do solo. O desempenho do sistema dosador foi considerado satisfatório, no entanto ainda deve ser melhorado para operar a velocidades mais elevadas. Em condições de campo, verificou-se também que a quantidade de lastros adicionados à adubadora teve influência na profundidade de aplicação de fertilizante e também na mobilização do solo, fato esse não observado para a distância entre covas. Com a adição de lastros foi possível atingir a profundidade de adubação de pelo menos 5 cm, o que minimiza as perdas de nitrogênio por volatilização. A mobilização do solo, independente da adição de lastros, foi considerada baixa quando comparada aos mecanismos sulcadores utilizados nas adubadoras em sulco convencionais. A adição de lastros poderá ser utilizada para controlar a profundidade de adubação, sem que haja uma alteração na distância entre covas e sem que ocorra mobilização excessiva do solo, fator esse que minimiza o risco de erosão.

ABSTRACT

VILLIBOR, Geice Paula, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July of 2008.
Evaluation of performance of the punch fertilizer applicator prototype for no-tillage system. Adviser: Francisco de Assis de Carvalho Pinto. Co-Advisers: Ricardo Capúcio de Resende, Daniel Marçal de Queiroz and Nerilson Terra Santos

Brazil is the third major corn producer in the world, however the yield is low. The low yield can be related to the incorrect nitrogen fertilization, mainly in no-tillage system. The Brazilian area under the no-tillage system is the second largest in the world. The dynamics of the nutrients in these areas, especially the nitrogen, requires careful use of fertilizer application techniques. The punch fertilizer applicator for after planting application is an alternative for improving the efficiency fertilizer usage. The objective of this work was to evaluate the effect of five openings of metering fertilizer unit (19.1; 15.0; 11.5; 8.0 and 5 mm), three angular speeds of the punch wheel (2.6; 4.3 and 6.1 rad s⁻¹) and three levels in the tank of fertilizer (40, 20 and 13.3 L), in the total mass applied by the metering device and in mass distributed for the delivering fertilizer system, in controlled conditions. Also, it was verified the influence of four ballasts (0, 25, 40 and 65 kg) in the depth of deposition of fertilizer, in the distance between holes and in the soil mobilization. The laboratory tests were lead in a completely randomized design in a factorial 5x3x3, and were performed in the Laboratory of Agricultural Mechanization (UFV). The filed tests were carried out in a completely randomized design and were performed in the Agricultural Mechanization Area of the Agricultural Engineering Department (UFV). Based on the obtained results was concluded that the fertilizer level in the tank did not have influence on the performance of the metering fertilizer unit and the delivery system. However, the angular speed of the punch wheel influenced in the total mass applied; therefore the metering fertilizer unit must be calibrated for the speed of work. It was verified that the excellent speed of operation is around 3,5 km h⁻¹, which in most of the dosed mass was applied below of the soil surface. The performance of the fertilizer metering unit was satisfactory. In field conditions, it was also verified that the amount of ballasts added to the punch fertilizer machine had influence on the depth of fertilizer

application and on the soil mobilization. This fact was not observed for the distance between the holes. With the ballast addition it was possible to reach the depth of fertilization of at least 5 cm, what minimizes the losses of nitrogen for volatilization. The soil mobilization, independent of the ballast addition, was considered low when compared with the furrows opening mechanisms used in the conventional applicator of fertilizer. The ballast addition could be used to control the depth of fertilization, without changing the distance between holes and without increasing the soil mobilization. These both conditions are important for the better efficiency of the no-tillage system.

1 - INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa posição de destaque no mercado mundial de grãos, dos quais o milho é uma das culturas com maior importância econômica. Mesmo sendo um grande produtor mundial, a produtividade média da cultura do milho é considerada baixa. Esta baixa produtividade pode estar relacionada a vários fatores sendo um deles a adubação nitrogenada de cobertura incorreta, principalmente nos sistemas de plantio direto.

A área brasileira sob o sistema de plantio direto é a segunda maior do mundo, sendo de aproximadamente 23,6 milhões de hectares. A adubação feita de forma correta, nestas áreas, além de aumentar a produtividade das culturas pode diminuir os custos com fertilizantes. No entanto, a dinâmica dos nutrientes sob o sistema de plantio direto é mais complexa, necessitando da adequação das técnicas de aplicação de fertilizantes, principalmente os fertilizantes nitrogenados.

Os fertilizantes nitrogenados estão sujeitos a maiores perdas no sistema de plantio direto, sendo mais expressivas as perdas por volatilização da amônia e imobilização pelos microrganismos presente na cobertura morta do solo.

As perdas de nitrogênio no sistema de plantio direto podem ser minimizadas pela aplicação dos fertilizantes na posição correta. A volatilização da amônia pode ser diminuída pela aplicação do fertilizante em profundidade, especialmente quando for utilizada a uréia, tanto para adubação de plantio quanto para a adubação de cobertura. No entanto, a aplicação superficial de fertilizantes no sistema de plantio direto ainda é realizada de forma predominante.

Um dos métodos utilizados para a adubação em cobertura, em profundidade, é por meio da utilização de cultivadores mecânicos, os quais aplicam o fertilizante ao lado da linha de plantio, melhorando a incorporação do mesmo no solo. Ao realizar a abertura de um sulco contínuo no solo, há uma excessiva mobilização do solo, o que pode favorecer a germinação de plantas invasoras e o processo erosivo do solo, devido à criação de canais preferenciais para o escoamento superficial. Pode ainda provocar danos às raízes das plantas e aumentar a força de tração necessária.

A aplicação de fertilizantes nitrogenados em superfície não é adequada para o sistema de plantio direto, pois as perdas por volatilização e imobilização podem ser inaceitáveis, dependendo das condições encontradas. Porém quando a aplicação é realizada em superfície a operação de adubação pode ser realizada a maiores velocidades e maior largura de trabalho.

Uma das alternativas para aumentar a eficiência do uso de N pelas plantas é a aplicação localizada de fertilizantes. A aplicação de fertilizantes de forma localizada pode diminuir a quantidade aplicada, reduzindo os custos com adubo nitrogenado, além de minimizar os problemas com lixiviação e volatilização, principalmente nas condições brasileiras.

A aplicação de fertilizantes em covas, ou pontualmente, além de aplicar o fertilizante em profundidade, diminui a mobilização do solo e assim a força de tração necessária é minimizada.

Diante da importância da evolução da técnica de aplicação de fertilizantes em covas e tendo em vista a carência de pesquisas relacionadas às máquinas e mecanismos puncionadores, esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar um protótipo de uma adubadora puncionadora, que foi desenvolvida para o plantio direto, estudando seu mecanismo dosador e seu mecanismo distribuidor de fertilizantes, em função de diferentes aberturas do sistema dosador, diferentes velocidades de trabalho, níveis de fertilizante no reservatório e níveis de lastros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - A cultura do milho e Adubação Nitrogenada

O Brasil ocupa posição de destaque no mercado mundial de milho, sendo o terceiro maior produtor, na qual a safra 2007 foi de 55,63 milhões de toneladas, sendo 4 milhões de toneladas exportadas (IBGE, 2008). A produtividade média do Brasil é de 3,23 t ha⁻¹ sendo considerada baixa quando comparada aos países como Estados Unidos e China que possuem uma produtividade média de 9,29 t ha⁻¹ e 5,29 t ha⁻¹, respectivamente (USDA, 2008).

No ano de 2007, a área mundial, cultivada com milho, foi de 145,85 milhões de hectares. Nos Estados Unidos a área cultivada foi de 28,59 milhões de hectares, na China de 26,97 milhões de hectares e no Brasil de 14,00 milhões de hectares (USDA, 2008).

A produtividade da cultura do milho pode ser limitada pela disponibilidade de nitrogênio. Para Lemaire & Gastal (1997) o N é o elemento exigido em maiores quantidades pela cultura do milho e também o elemento que limita, com maior frequência, a produtividade de grãos. Observa-se que a cultura do milho consome aproximadamente 16% de todo o nitrogênio utilizado no mundo. No Brasil, 27% de todo nitrogênio utilizado nas operações de adubação é consumido pela cultura do milho, e nos Estados Unidos esse valor é de próximo aos 45% (INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION, 2008).

A baixa produtividade da cultura do milho, no Brasil, é ocasionada por vários fatores, sendo um deles a adubação incorreta, principalmente nos sistemas de plantio direto na palha (SPDP). Araújo *et al.* (2004) observaram que a produtividade de grãos e o total de nitrogênio (N) acumulado na cultura do milho aumentaram com o incremento das doses de N aplicadas e o efeito das doses de N na produtividade foi linear.

Oliveira & Caíres (2003) aplicando diferentes doses de N, em adubação de cobertura sob SPDP, verificaram que as doses de N aumentaram linearmente a produção de milho, o número de grãos por espigas e a massa de

espigas por planta. Também verificaram que a uréia aplicada em superfície, ou incorporada, e o sulfato de amônio em superfície, tiveram comportamento semelhante na nutrição e produção de milho.

A produtividade do milho pode ser influenciada pela época e localização do fertilizante nitrogenado. Nos anos de 1980, em estudos realizados por Baker *et al.* (1989), citado por Belzer (2008) foram verificadas maiores produtividades do milho quando foi aplicado fertilizante nitrogenado líquido, de forma pontual, quando comparados a aplicação em sulcos, em sistema de plantio direto.

A localização do fertilizante pode influenciar no desenvolvimento final do estande das plantas de milho. Silva *et al.* (1999) verificaram que os tratamentos estudados onde foram colocadas as camadas mais ricas em nutrientes a maiores profundidades tenderam a facilitar a absorção de nutrientes e, em consequência, elevar a produção.

2.2 - Plantio Direto e Adubação Nitrogenada

O sistema de plantio direto é um sistema conservacionista o qual visa a menor a mobilização do solo. A área de plantio direto na palha vem crescendo substancialmente, sendo de aproximadamente 96 milhões de hectares em todo o mundo. O Brasil tem a segunda maior área sob plantio direto, em torno de 23,6 milhões de hectares, atrás somente para os Estados Unidos, com 25,3 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2007).

As principais vantagens do SPDP são: a redução da erosão, manutenção de melhores condições químicas, físicas e biológicas do solo, a conservação da água, a redução de perdas de nutrientes por lixiviação e a redução dos custos com manejo.

Segundo Furlani *et al.* (2003), a técnica do plantio direto visa manter sobre a superfície do solo a maior quantidade de resíduos possível, a fim de evitar o efeito das intempéries do clima. Porém a cobertura existente precisa ser manejada corretamente, a fim de fornecer condições adequadas para a utilização das semeadoras-adubadoras.

O sucesso do plantio sobre uma camada vegetal está relacionado com o corte da camada de restos culturais, a fim de que a semente e o fertilizante possam ser depositados em contato com o solo (PORTELLA *et al.*, 1997).

A operação de adubação no sistema de plantio direto é mais complexa, sendo o N o nutriente mais afetado e com maiores perdas observadas, principalmente quando o fertilizante nitrogenado é aplicado em superfície. A aplicação em superfície, não é adequada para o plantio direto, devido a não incorporação do fertilizante, o que resulta em perdas por volatilização e imobilização (SÁ, 1996).

A melhoria da eficiência de absorção do N pelas plantas não depende somente da formulação dos fertilizantes, mas também de sua localização adequada no solo. Segundo Malavolta (1979), a aplicação do fertilizante na posição correta, no solo, tem quase a mesma importância que usar a formulação e quantidades adequadas.

Para diminuir as possíveis perdas por volatilização de nitrogênio, principalmente quando a fonte de N for uréia, na adubação de plantio ou em cobertura, as aplicações devem ser realizadas preferencialmente em profundidade, cobrindo-se o fertilizante com uma camada de 5 - 7 cm de solo, podendo essa prática aumentar o rendimento em cerca de 5% (LOPES *et al.*, 2004).

Sangoi *et al.* (2003) observaram, em laboratório, que a aplicação superficial da uréia aumentou as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia em relação em relação a sua incorporação, independente do manejo dos restos culturais dos solos estudados. Em média, 14% do nitrogênio aplicado foi perdido na forma de amônia quando a uréia foi aplicada em superfície, já quando esta foi incorporada essas perdas ficaram em torno de 1,1%.

Van Tassel *et al.* (1996), citado por Jones e Jacobsen (2003), fazendo uma avaliação econômica do efeito da localização do fertilizante nitrogenado em campos de beterraba açucareira, encontraram que a produtividade,

baseado em taxas ótimas de aplicação nitrogênio, eram mais elevadas para a aplicação pontual de N que para aplicação em superfície e em sulcos.

Assim para melhorar a eficiência no uso dos nutrientes, principalmente o N, pela plantas e diminuir os custos com fertilizantes a adubação localizada é uma alternativa.

2.3 - Adubação Localizada de Fertilizantes Nitrogenados

A adubação localizada de fertilizantes além de diminuir o custo com os mesmos pode minimizar as perdas de N. A aplicação localizada de fertilizantes sólidos geralmente é realizada sobre a superfície do solo, sendo realizada em faixas, e em profundidade, aplicado em sulcos. Na adubação em faixa o fertilizante é aplicado entre as linhas das culturas. Na aplicação em sulcos, o fertilizante é distribuído no fundo dos sulcos abertos por meio de facões e discos.

A localização ótima de fertilizante deve ser aquela que maximize o contato raiz–nutriente, especialmente nos estágios iniciais do desenvolvimento das raízes, sem causar problemas à emergência (JONES & JACOBSEN, 2003)

Dentre as formas de aplicação localizada de fertilizantes, o estudo da adubação, em covas ou pontual, vem sendo implementado. A adubação em covas além aplicar o fertilizante em profundidade minimiza a mobilização do solo. Alguns mecanismos para aplicação de insumos de forma localizada já foram desenvolvidos.

Van de Sar & De Vries (1984), citado por Bautista *et al.* (2001), apresentaram um dispositivo pneumático para aplicação pontual de grânulos desenvolvido para operar a uma profundidade de 5 a 10 cm. A dosagem de grânulos de fertilizantes era ativada pelo movimento ascendente de um pistão que enviava o grânulo a uma abertura de um disco dosador rotativo.

Liu (1984), citado por Bautista *et al.* (2001), desenvolveu dois mecanismos similares para a aplicação de uréia em pequenos bloquetes comprimidos. Estes eram constituídos de uma roda de terra vertical na qual os bloquetes eram alimentados em sua parte superior em pequenas canecas de

alimentação. Estas canecas direcionavam o fertilizante ao solo por meio de um tubo disposto numa abertura no patim de apoio.

A aplicação de fertilizantes líquidos de forma pontual possui a mesma eficiência agrônômica dos demais métodos. Um protótipo de um injetor de N líquido foi desenvolvido por Bautista & Schnier (1989), citado por Bautista *et al.* (2001). Este era constituído por tubos finos que terminavam abaixo de um patim estreito com sistema de abertura de sulco e um dispositivo para cobertura do mesmo.

Nos anos de 1970, um injetor de fertilizantes nitrogenados líquido foi desenvolvido, no Japão, para a aplicação em cultura como a do arroz. Diversas pontas com bocais eram injetadas no solo a uma profundidade de 12 cm, quando uma alavanca era acionada (Hiraizumi, 1997, citado por Bautista *et al.* 2001).

Baker *et al.* (1989) desenvolveram quatro protótipos para a aplicação pontual de fertilizantes líquidos (Figura 1). Estes eram providos de hastes que injetavam o fertilizante abaixo da superfície do solo. Uma das dificuldades encontradas foi o entupimento dos furos de saída do fertilizante e aplicação muito próxima à superfície do solo.



Figura 1 – Mecanismo distribuidor de fertilizantes líquido de forma pontual, desenvolvido por Baker (1989)

Baker (1997) combinando a injeção localizada de fertilizantes nitrogenados líquidos com a leve compactação da superfície acima da zona de aplicação do mesmo observou uma significativa redução nas perdas por lixiviação de $\text{NO}_3\text{-N}$.

Resende (2002) projetou e avaliou uma semeadora puncionadora. O mecanismo era constituído por rodas em “V”, análogo aos sulcadores de disco duplo, com punções distribuídas radialmente, as quais trabalhavam o solo de forma pontual. O dosador de sementes foi colocado em uma das rodas de modo a distribuir as sementes dentro das covas no momento que estas fossem abertas. A semeadora desenvolvida está apresentada na Figura 2.



Figura 2 – Semeadora de precisão, em covas, constituídas por discos em “V” desenvolvida por Resende (2002)

Utilizando o mesmo princípio abridor de covas projetado por Resende (2002), Yamamoto (2005) desenvolveu um mecanismo para adubação nitrogenada de cobertura em covas (Figura 3). O sistema dosador de fertilizantes sólidos deste protótipo era constituído por um rotor com palhetas radiais que forma várias células. O volume dessas células era variável para regular a dose de fertilizante que era distribuída dentro das covas.



Figura 3 – Mecanismo abridor de covas desenvolvido por Yamamoto (2005) utilizado para adubação nitrogenada de cobertura.

2.4 - Dosadores de Fertilizante Sólidos

Os dispositivos dosadores existentes nas adubadoras e semeadoras-adubadoras convencionais diferem em sua construção em função do fabricante. Estes mecanismos dosadores não aplicam fertilizante de maneira uniforme, variando as quantidades aplicadas em função da velocidade de trabalho. A utilização das técnicas de aplicação pontual de fertilizantes necessita do desenvolvimento e avaliação de novos mecanismos dosadores.

Os dosadores de fertilizantes sólidos variam a massa de fertilizante aplicada em função da velocidade de trabalho. Um dos dosadores de fertilizantes sólidos mais utilizados constitui-se de um eixo com um helicóide colocado abaixo do reservatório de fertilizantes, sendo a quantidade variada através de um sistema de transmissão por rodas dentadas e correntes, ou por engrenagens, sendo este representado pela Figura 4 (BALASTREIRE, 1987).

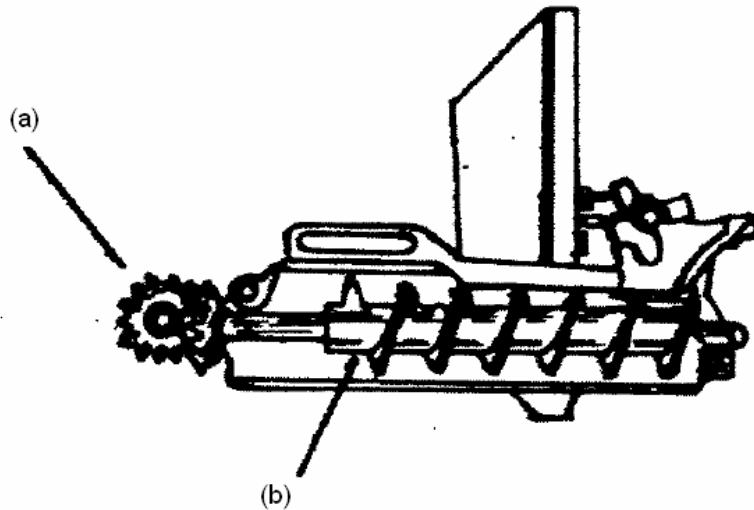


Figura 4 – Dosador helicoidal para fertilizantes sólidos, (a) sistema de transmissão e (b) helicóide (BALASTREIRE, 1987).

Martins (1999) avaliou um dosador helicoidal com fins de aplicação de fertilizantes a taxa variável. Foi observada a ocorrência de um comportamento oscilatório da vazão mássica nas diversas rotações, mostrando uma excessiva desuniformidade de aplicação.

Cappelli (2000), simulando uma aplicação de fertilizantes realizada a 2,2 m s⁻¹ com uma distância entre sulcos de 0,8 m, com velocidades no eixo do sistema dosador de 28 e 137 rpm, verificou uma elevada variação na quantidade de fertilizante aplicada ao longo do sulco.

Yamamoto (2005), avaliando o sistema dosador de fertilizante de seu protótipo, observou que a cada milímetro de aumento na profundidade da célula de dosagem, ocorria um incremento de 0,95 g de fertilizante por cova, fixando-se a velocidade. Porém observou-se um decréscimo de 0,22 g de fertilizante por cova, quando se aumentava a velocidade de 1 km h⁻¹ e fixava-se o volume de dosagem.

2.5 – Mobilização do solo por sulcadores presentes nas semeadoras-adubadoras convencionais

A mobilização do solo pode influenciar em diversos fatores relacionados às máquinas agrícolas e também em relação ao desenvolvimento das culturas. Quanto maior a mobilização do solo, maior será a força de tração necessária para tracionar os implementos.

A mobilização excessiva de solo pode favorecer a germinação de plantas invasoras (RASMUSSEM, 2003), potencializar problemas com erosão, aumentar a força de tração necessária e aumentar os possíveis danos às raízes das plantas. As máquinas de aplicação de fertilizante em sulcos incorporam o fertilizante abaixo da superfície, porém com uma excessiva mobilização do solo (MOLIN *et al.*, 1998).

Silva *et al.* (1999), estudando o efeito da mobilização do solo, perdas de solo por erosão e produtividade do milho, observaram uma menor perda de solo por erosão nos tratamentos onde houve uma menor mobilização, devido a menor desagregação das partículas. No entanto, os tratamentos em que ocorreu maior mobilização do solo a produtividade do milho foi maior.

Coelho (1998) avaliando os elementos sulcadores utilizados pelas semeadoras-adubadoras, para sistemas de preparo de solo conservacionista, verificou que a configuração de sulcadores que apresentaram menores áreas de sulco, foram aquelas cujos elementos sulcadores e cortadores de palha eram composto por discos. Verificou também que os tratamentos com facas sulcadoras foram que mais exigiram força de tração e mais mobilizaram o solo. O volume de solo mobilizado encontrado foi de 176,63 m³ ha⁻¹ para discos simples e faca sulcadora e de 96,06 m³ ha⁻¹, para discos duplos desencontrados. A área da seção transversal mobilizada foi obtida por um microperfilômetro e o espaçamento considerado foi de 0,80 m entre linhas.

Sasaki *et al.* (2005) estudando diferentes tipos de hastes sulcadoras, verificaram que a haste reta-inclinada apresentou maior mobilização do solo quando comparada a haste parabólica, sendo estes valores de 0,1817 e 0,2080 m² para haste parabólica e para haste reta-inclinada respectivamente.

Avaliando o comportamento de hastes escarificadoras parabólicas, Bianchini *et al.* (1999) verificaram uma área de solo mobilizada de solo variando de 0,1 a 0,25 m², numa profundidade de trabalho de 0,125 a 0,325 m, mostrando a interferência da profundidade de trabalho na área de solo mobilizado, ou seja, quanto maior a profundidade maior a mobilização.

Tamayo (2002) avaliando diferentes combinações entre hastes parabólicas e discos duplos, para a prática do cultivo, verificou que a área de solo mobilizada foi maior quando as hastes trabalharam individualmente. Os valores de área mobilizada foram de 0,0545 m² para haste escarificadora, 0,0514 m² para discos duplos junto a haste escarificadora, 0,385 m² para haste curta e de 0,0290 m² para combinação entre haste curta e discos duplos.

Casão Junior *et al.* (2000) avaliando o desempenho de uma semeadora-adubadora para o plantio direto, verificaram que a área transversal mobilizada pela haste sulcadora foi elevada para as condições de plantio direto, o que contribui para que grande parte do solo ficasse descoberto. O valor médio observado de área mobilizada foi de $9,33 \times 10^{-3}$ m².

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – Descrição da Adubadora Puncionadora

Foi utilizado o protótipo de uma adubadora puncionadora, desenvolvida por Yamamoto (2005) e Villibor e Loureiro (2006), construído no Laboratório de Mecanização Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa, constituída de uma linha de adubação (Figura 5).

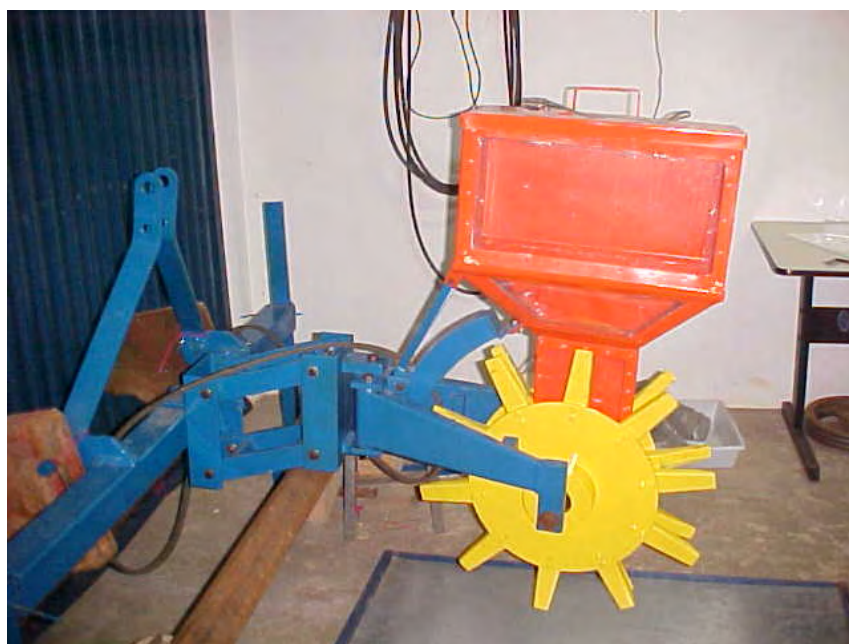


Figura 5 – Protótipo da adubadora puncionadora desenvolvida por Yamamoto (2005) e Villibor e Loureiro (2006) utilizada no experimento.

O mecanismo abridor de covas é constituído de dois discos com mancais de rolamento que são fixados em um eixo em “V”. Nesses discos são acopladas punções radiais que se engrenam para sincronizar a rotação das rodas puncionadoras. Quando esse mecanismo é tracionado as punções penetram no solo e abrem uma linha de covas, e de forma sincronizada distribuem adubo dentro dessas covas. O diâmetro das rodas é de 64 cm, nas quais estão acopladas dez punções de 12 cm de comprimento. O eixo em “V” possui uma angulação de 12 graus e é seccionado no centro, a fim de possibilitar manutenções nas rodas. O mecanismo dosador de fertilizante é constituído por um rotor com palhetas e um disco regulador da profundidade da

célula de adubo, a qual possui uma abertura máxima de 19,1 mm (Figura 6). A variação da quantidade de fertilizante aplicada está apresentada na Figura 7. Esse dosador é fixo no centro de uma das rodas.



Figura 6 – Mecanismo dosador de fertilizantes da adubadora puncionadora desenvolvido por Yamamoto (2005) e Villibor e Loureiro (2006).

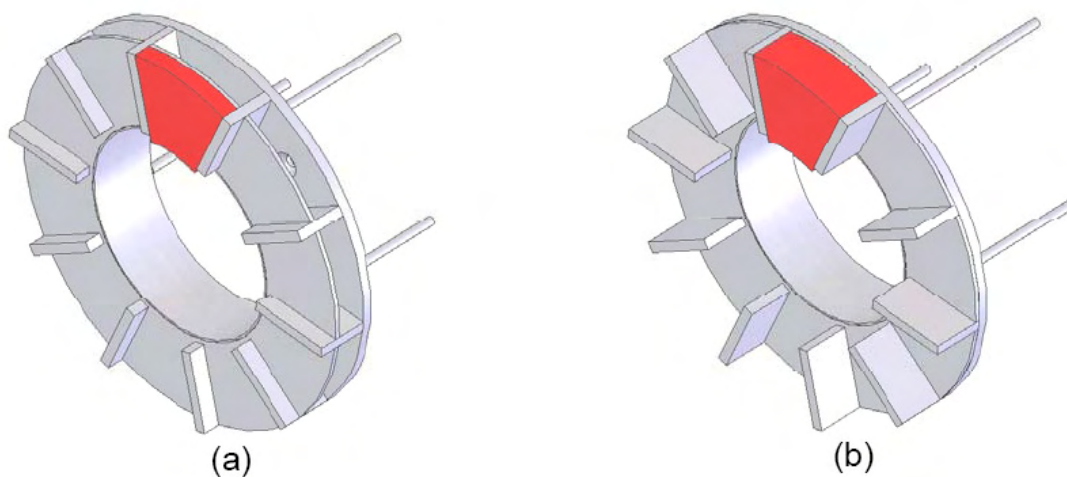


Figura 7 - Esquema representativo da variação de fertilizante do mecanismo dosador desenvolvido por Yamamoto (2005): (a) dosador em dose menor e em (b) dosador em dose máxima.

Para evitar o embuchamento das punções com palhada, o protótipo possui um par de esquis tombadores de palha. O reservatório de fertilizante é retangular com um volume de 40 L. O transporte de fertilizante do reservatório até o mecanismo dosador é feito por gravidade, por meio de um condutor central, sendo que na entrada desse condutor é disposto um defletor que tem por objetivo evitar que a massa de fertilizante influencie no sistema dosador.

As rodas puncionadoras e o reservatório de fertilizantes são conectados a um mecanismo pantográfico por meio de um suporte articulado transversalmente. O mecanismo pantográfico é fixado na barra porta ferramentas. Todo conjunto é montado no sistema de três pontos do trator.

3.2 - Avaliação do sistema dosador e distribuidor de fertilizante em laboratório

Para a avaliação dos sistemas dosador e distribuidor de fertilizantes foi preparada uma bancada de testes constituída por uma estrutura para sustentação da máquina, de um coletor de fertilizante, de um sistema de acionamento eletro-mecânico e um sistema de medição, aquisição e armazenamento de dados.

O acionamento do eixo das rodas puncionadoras foi realizado por um motor elétrico trifásico da marca WEG, potência nominal de 14,7 kW (20 cv), rotação nominal de 1750 rpm e tensão de 220 V. O motor foi acionado por um inversor de frequência, marca WEG, modelo CFW 090054T2223PSZ, alimentação trifásica de 220 VAc. O inversor de frequência permitiu a variação da rotação do eixo de acionamento do dosador de fertilizantes. A transmissão de potência do motor elétrico ao eixo da adubadora foi feito por meio de polias e correias trapezoidais.

Para a mensuração da massa de fertilizante aplicada pelo protótipo foi construída uma balança. A balança foi constituída por uma bandeja que foi fixada em uma célula de carga extensométrica. A célula de carga utilizada foi do tipo “S”, marca Omega, modelo LC 101–100, capacidade nominal de 45,54 kg (100 lbf) e sensibilidade nominal de 3mV V^{-1} , calibrada para indicar massa.

A velocidade rotacional das rodas puncionadoras da adubadora foi medida por meio de um sensor magnético, sendo obtida em função da frequência de passagem das punções das rodas pelo sensor magnético. Foi feita uma curva de calibração para a velocidade. O sensor magnético utilizado foi um contador de pulsos, marca *Schmersal*, modelo IFL-5-1811 ZNG. A Figura 8 representa a bancada de testes utilizada para a avaliação da adubadora puncionadora, em laboratório.

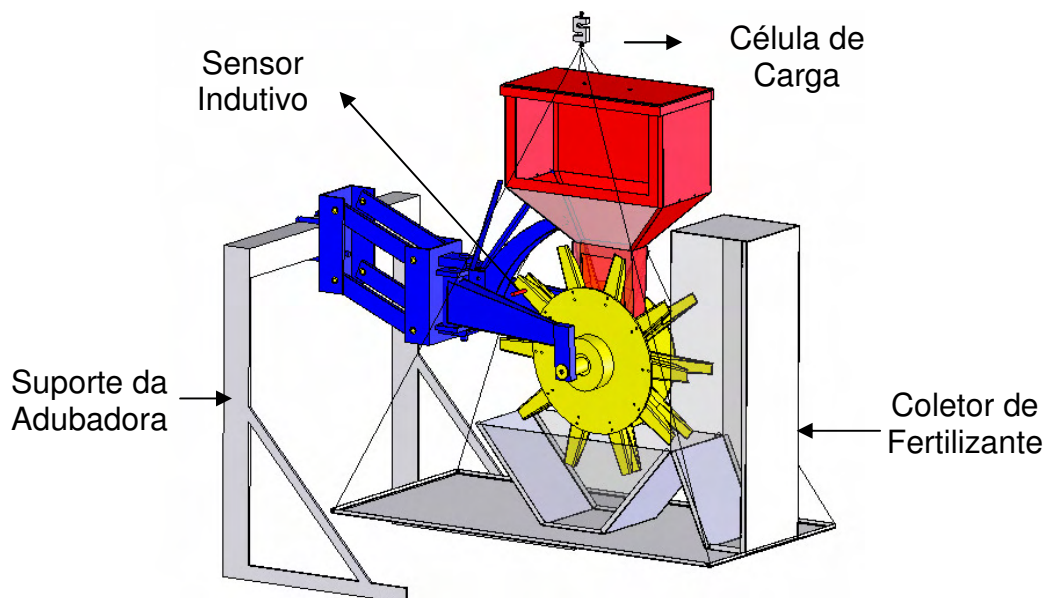


Figura 8 – Esquema representativo da bancada de testes utilizada para a avaliação em laboratório da adubadora puncionadora desenvolvida por Yamamoto (2005) e Villibor e Loureiro (2006).

Os dois sensores foram conectados a um sistema de aquisição de dados para computador portátil. A aquisição de dados foi realizada por um *data logger* da marca HBM, modelo *Spider 8*, com entrada para oito canais, com taxa de amostragem máxima de 9600 Hz por canal, filtros digitais incorporados, interface paralela e alimentação 12 Vcc. Os dados de velocidade rotacional das rodas e massa de fertilizante foram processados e armazenados em um computador portátil, da marca *Toshiba*, juntamente com o software *Catman 2.2*, da HBM.

3.2.1 - Delineamento Experimental

O experimento em laboratório foi realizado segundo o delineamento inteiramente casualizado, no esquema fatorial 5x3x3, sendo avaliadas cinco regulagens do dosador (19,1; 15,0; 11,5; 8,0 e 5 mm), três velocidades angulares das rodas, (2,6; 4,3 e 6,1 rad s⁻¹), as quais equivalem à velocidade de deslocamento de 3, 5 e 7 km h⁻¹, e três níveis do reservatório de fertilizante (40, 20 e 13,3 L), com três repetições, totalizando 135 unidades experimentais.

Cada unidade experimental representou uma simulação da distância de 50 metros percorridos pelo protótipo da adubadora puncionadora. Para a mensuração da massa de fertilizante, distribuída pelo protótipo nas simulações, foi construído um coletor que consistiu de duas partes, uma das partes posicionada abaixo da roda puncionadora e a outra atrás da mesma (Figura 9).

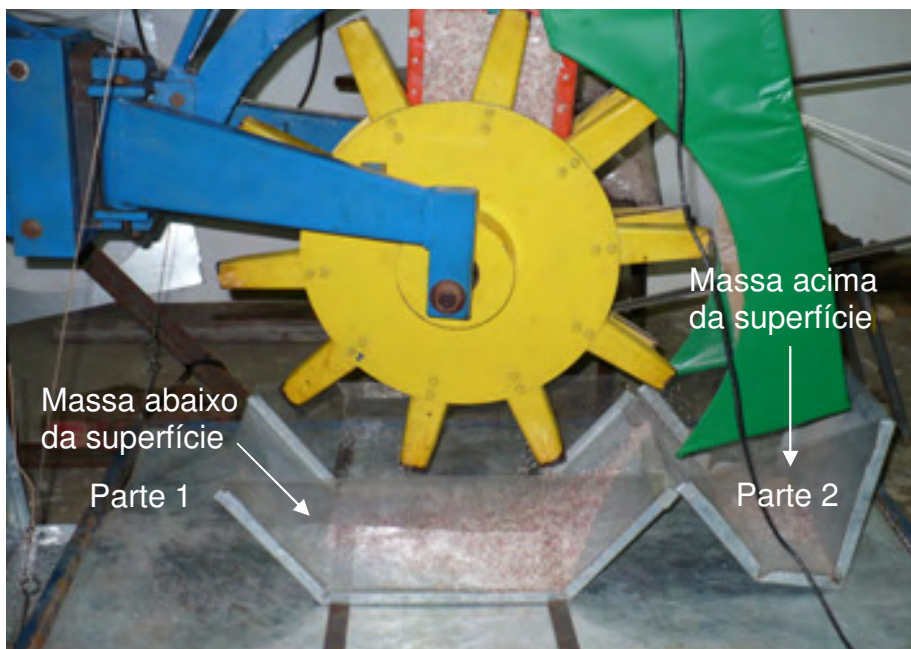


Figura 9 – Coletor de fertilizantes sobre a balança utilizada para a avaliação da adubadora puncionadora desenvolvida por Yamamoto (2005) e Villibor e Loureiro (2006).

A massa coletada na parte 1 representou a massa distribuída abaixo da superfície do solo e a massa coletada na parte 2 representou a massa distribuída acima da superfície do solo. O coletor foi construído de forma que o fertilizante de ambas as partes não se misturasse. A massa total foi obtida pela

célula de carga, já as duas últimas foram obtidas por meio de pesagem em balança analítica, após o término de cada simulação.

O tempo de amostragem foi definido em função da velocidade angular da roda puncionadora, sendo de 60, 36 e 26 segundos, para as velocidades de 2,6; 4,3 e 6,1 rad s⁻¹, respectivamente.

3.2.2 - Análise estatística

A avaliação do efeito das aberturas do sistema dosador de fertilizante, da velocidade angular da roda puncionadora e do nível de fertilizante no reservatório sobre a massa total aplicada foi realizada por meio de uma análise de superfície de resposta, utilizando o programa computacional *Statistical Analyses System* (SAS Institute, 1999).

A análise de regressão foi realizada ajustando diferentes modelos. O primeiro modelo ajustado foi o modelo representado pela Equação 1. Optou-se pelo modelo de primeiro grau por esse representar de forma mais simplificada a variação da massa total comparando-se com o modelo de segundo grau.

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + A\hat{\beta}_1 + V\hat{\beta}_2 + N\hat{\beta}_3 + AV\hat{\beta}_4 + AN\hat{\beta}_5 + NV\hat{\beta}_6 + AVN\hat{\beta}_7 \quad (1)$$

Em que:

- \hat{Y} : Massa total aplicada nos 50 metros simulados;
- $\hat{\beta}_0$: Constante da regressão;
- $\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\beta}_3, \hat{\beta}_4, \hat{\beta}_5, \hat{\beta}_6$ e $\hat{\beta}_7$: Coeficientes da regressão;
- A : Nível de abertura do sistema dosador de fertilizantes;
- V : Nível da velocidade rotacional da roda puncionadora;
- e
- N : Nível de fertilizante no reservatório.

A significância da falta de ajuste dos modelos não foi utilizada como critério para a seleção dos modelos, pois todos os modelos ajustados apresentaram falta de ajuste significativa em decorrência do grande número de observações disponíveis para o ajuste. Pequenos desvios no ajuste são

considerados significativos, mesmo que o modelo apresente coeficiente de determinação elevado. Portanto, a escolha do modelo foi feita com base na significância do teste F para a regressão e na significância do teste t para cada um dos coeficientes de regressão do modelo.

Para verificar o efeito da abertura do sistema dosador, das velocidades rotacionais da roda puncionadora e do nível do reservatório na massa de fertilizante aplicada na Parte 2 do coletor, que representa a massa acima da superfície foi realizada uma análise estatística utilizando a Metodologia de Superfície de Resposta (RSM), testando-se o modelo representado pela Equação 2. O ajuste de um modelo quadrático permite avaliar a variável em relação na região de melhor funcionamento do sistema distribuidor.

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + A\hat{\beta}_1 + V\hat{\beta}_2 + N\hat{\beta}_3 + A^2\hat{\beta}_4 + V^2\hat{\beta}_5 + N^2\hat{\beta}_6 + AV\hat{\beta}_7 + AN\hat{\beta}_8 + NV\hat{\beta}_9 \quad (2)$$

Em que:

- \hat{Y} : Variável dependente;
- $\hat{\beta}_0$: Constante da regressão;
- $\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\beta}_3, \hat{\beta}_4, \hat{\beta}_5, \hat{\beta}_6$ e $\hat{\beta}_7$: Coeficientes da regressão;
- A : Nível de abertura do sistema dosador de fertilizantes;
- V : Nível da velocidade rotacional da roda puncionadora;
- e
- N : Nível de fertilizante no reservatório.

Os níveis dos fatores abertura do sistema dosador de fertilizante, velocidade rotacional da roda puncionadora e nível de fertilizante no reservatório que proporcionam o ponto ótimo de funcionamento do protótipo, com relação à massa aplicada acima da superfície, foram estimados a partir do ponto estacionário do modelo de superfície de resposta selecionado. Os gráficos dos modelos selecionados de superfície de respostas foram obtidos usando o programa computacional MATLAB 6.5.

3.2.3 - Caracterização física do fertilizante

Foram determinadas as principais características físicas do fertilizante imediatamente antes da realização dos testes, tendo em vista que a massa distribuída pode ser influenciada pelas características físicas do fertilizante.

Massa específica do fertilizante

Para determinação da massa específica do fertilizante foram coletadas três amostras de volume conhecido, sendo essas amostras posteriormente pesadas. O recipiente usado teve o seu volume aferido e a pesagem foi realizada em balança analítica.

Teor de água do fertilizante

Para a determinação do teor de água do fertilizante foram retiradas três amostras da embalagem imediatamente antes do início dos testes. As amostras foram colocadas em recipientes de 4 cm de diâmetro e 1 cm de altura, em seguida foram pesadas para determinação da massa inicial. Logo após foram levadas à estufa a 50° C, por 24 horas (ALCARDE, 1992). Depois de resfriadas foram pesadas para a obtenção da massa de fertilizante seca. A umidade das amostras, em base seca, foi obtida pela Equação 3:

$$U = \left[\frac{(P_i - P_s)}{P_s} \right] 100 \quad (3)$$

Em que

U – Umidade do fertilizante em base seca (%);

P_i – Massa inicial da amostra (g);

P_s – Massa seca da amostra (g).

Ângulo de repouso do fertilizante

O ângulo de repouso do fertilizante foi determinado pela medição do ângulo formado pela superfície de deposição natural do produto e superfície horizontal, por meio de um dispositivo próprio. O dispositivo é composto por um reservatório cilíndrico, de diâmetro conhecido, feito de acrílico, com um orifício no seu centro, que pode ser aberto ou fechado, por meio de uma alavanca. Na

superfície cilíndrica foi acoplada uma régua graduada, em mm, que serviu para medir a altura do fertilizante após entrar em repouso.

Foram colocadas, no dispositivo, três amostras de fertilizante, acomodado de modo que a sua superfície ficasse totalmente plana. Em seguida foi aberto o orifício, e o fertilizante escoou até entrar em repouso. Após o fertilizante entrar em repouso determinou-se o ângulo de repouso do mesmo, calculando-se o arco cuja tangente é altura de fertilizante dividida pelo raio do dispositivo.

Granulometria do fertilizante

A granulometria foi determinada por meio da utilização de peneiras vibratórias, marca Bertel, com um conjunto de peneiras de tamanhos padronizados (4 mm; 2,38 mm; 1,68 mm; 1,19mm; 700 µm; 500 µm e Fundo), da mesma marca.

Foi colocado na primeira peneira 1 kg de fertilizante que foi agitado por 5 minutos, sendo esse medido pelo próprio equipamento. Em seguida foi obtida a massa do material contido em cada peneira e o valor expresso em porcentagem de massa.

A massa do produto retido em cada peneira foi obtida por uma balança analítica.

Diâmetro médio ponderado (DMP) do fertilizante

O diâmetro médio ponderado (DMP) representa a média do diâmetro das partículas do fertilizante a ser utilizado, representando o potencial de agregação das partículas. O DMP foi calculado pelo método sugerido por Youker e McGuinness (1956), citado por Kiehl (1979), pela Equação 4:

$$DMP = \sum (C \times P) \quad (4)$$

Em que:

DMP – Diâmetro médio ponderado (mm)

C – Tamanho dos furos das peneiras (mm)

P – Proporção do peso do material retido em cada peneira, em relação ao peso total da amostra, adimensional.

3.3 - Avaliação da adubadora em condições de campo

O experimento foi realizado no campo experimental pertencente ao Laboratório de Mecanização Agrícola, do Departamento de Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada na cidade de Viçosa - MG (Figura 10).



Figura 10 – Área experimental utilizada para avaliação da adubadora puncionadora.

A localização geográfica da área está definida pelas coordenadas 20° 45' 14" de latitude sul e 42° 52' 54" de longitude oeste, com uma altitude média de 648,74 m.

O relevo da região de Viçosa, MG, é 85% montanhoso. O clima, conforme a classificação de Köppen (1948) é denominado Cwa (mesotérmico úmido), com verões quentes e invernos secos. A temperatura máxima média e a temperatura mínima média são 26,1 e 14,0 °C, respectivamente.

O solo da área foi classificado como latossolo vermelho-amarelo (EMBRAPA, 1999), com cobertura vegetal espontânea, previamente dessecada para os testes. Suas principais características físicas, tais como teor de água do solo, massa específica, resistência à penetração e massa seca da cobertura vegetal, foram obtidas e encontram-se no Apêndice B.

As regulagens da adubadora foram mantidas constantes na avaliação de campo. O sistema dosador de fertilizante foi mantido numa abertura de 11,5 mm, a velocidade de deslocamento da adubadora foi de 3,5 km h⁻¹ e o nível de fertilizante no reservatório foi mantido próximo a 1/3 de sua capacidade (13,3 L).

A velocidade de deslocamento do trator foi determinada marcando-se o tempo necessário para percorrer uma distância conhecida, utilizando a média de três repetições.

Nesta etapa a adubadora trabalhou na regulagem onde a velocidade de deslocamento e o nível de fertilizante no reservatório proporcionaram uma maior aplicação de fertilizante abaixo da superfície do solo, verificados pelo modelo de superfície de resposta ajustado em condições controladas.

Foi construída na adubadora uma estrutura para a colocação de lastros, e foi avaliado o efeito de quatro lastros diferentes (0, 25, 40 e 65 kg), sobre a distância entre covas, a profundidade de deposição do fertilizante e sobre a mobilização do solo. A Figura 11 apresenta a adubadora puncionadora com um dos lastros utilizados nos testes.



Figura 11 – Adubadora Puncionadora com um dos lastros utilizados nos testes de campo

A adubadora foi tracionada pelo trator marca Massey Ferguson, modelo 265, 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA), com potência nominal de 47,8 kW (65 cv), a 2200 rpm de rotação nominal e peso estático de 2.590 kg sem lastro

e 3.743 kg com lastro máximo. Nas avaliações o trator estava com o máximo de lastro, sendo este mantido durante todos os testes.

3.3.1 – Determinação da Distância entre Covas

A distribuição longitudinal do fertilizante foi determinada em função da distância entre covas. Após a adubadora abrir as covas, foi determinada a distância de centro a centro das mesmas, por meio de uma escala. Tal procedimento foi repetido dez vezes dentro de cada unidade experimental.

3.3.2 – Determinação da Profundidade de Deposição do Fertilizante

A profundidade de deposição do fertilizante foi medida baseada na metodologia proposta por Kurachi (1986). A máquina passou em uma linha de adubação de 20 m. Após as covas serem abertas foi retirado o solo que desmoronou sobre o fertilizante aplicado. A profundidade de adubação foi determinada com um paquímetro e uma escala foi utilizada como referência, disposta transversalmente às covas. Foi verificada a profundidade de cinco covas por unidade experimental. A Figura 12 apresenta o detalhe do fertilizante disposto em uma das covas.



Figura 12 – Detalhe do fertilizante depositado em uma das covas abertas após a passagem da adubadora puncionadora

3.3.3 – Avaliação da Mobilização do Solo

Em cada unidade experimental cinco covas foram selecionadas para a quantidade de solo mobilizada. Esta quantidade foi mensurada indiretamente pelo volume de água necessário para o preenchimento das covas. Antes de iniciar esta medida de volume, o solo desmoronado dentro das covas foi removido e a cova foi impermeabilizada por um filme plástico. Ao final, a quantidade de solo mobilizada em cada unidade experimental, foi representada pela média do volume necessário para preencher as cinco covas de cada unidade experimental. Posteriormente, o volume mobilizado por metro linear também foi obtido. O teor de água do solo foi determinado antes do momento da coleta dos dados.

3.3.4 - Delineamento Experimental

O experimento foi realizado de acordo com o delineamento inteiramente casualizado, com 8 repetições, consistindo num total de 32 unidades experimentais. Os níveis de lastro avaliados foram 0, 25, 40 e 65 kg. Cada unidade experimental consistiu de uma área de 30 m², sendo 10 m de comprimento e 3 m de largura. Entre as unidades experimentais foi deixado 3 m para possíveis manobras. A área total utilizada no experimento foi de aproximadamente 0,2 ha.

O efeito do lastro na profundidade de deposição do fertilizante, na distância entre covas e no volume de solo mobilizado foi avaliado por meio de uma análise de regressão. Para esta análise foi utilizado o programa computacional SAS.

3.3.5 - Caracterização Física do Solo da Área Experimental

Foram avaliadas as principais características físicas e químicas do solo imediatamente antes da realização dos testes, tendo em vista que a profundidade de aplicação e a mobilização do solo podem se influenciadas pelas condições do solo.

Teor de água no solo

Foi utilizado o método gravimétrico padrão, com base na massa de solo seco em estufa à temperatura de 105 – 110° C até atingir massa constante, conforme (EMBRAPA, 1997). Na condução do experimento, foram realizadas amostragens de solo para a determinação do teor de água na profundidade de 0 a 0,10 m. A amostragem foi realizada anteriormente a operação de adubação, coletando três amostras de cada unidade experimental na profundidade mencionada anteriormente.

Massa específica do solo

Foi determinada na camada de 0 a 0,20 m de profundidade, utilizando-se o método do anel volumétrico, descrito pela EMBRAPA (1997). As amostras foram coletadas e acondicionadas em cápsulas de alumínio, lacradas com fita plástica até a chegada ao laboratório. A amostragem foi realizada antes da aplicação dos tratamentos, sendo retirada três amostras em cada unidade experimental.

Resistência do solo à penetração

Foi utilizado um penetrômetro, modelo PNT-2000, com uma profundidade máxima de 0,60 m. A medição da força é realizada por meio de uma célula de carga de capacidade nominal máxima de 1000 N. A profundidade é medida por meio de um sensor ultrasônico com precisão de 0,001 m. A capacidade de memória é de 768 ensaios.

A coleta dos dados para determinar a resistência do solo à penetração foi feita em oito pontos distintos de cada unidade experimental, com a retirada simultânea de amostras de solo para a determinação do teor de água no solo. A obtenção dos valores de resistência do solo à penetração foi apresentada em forma de tabela, nas profundidades de 0 - 0,15 m, sendo os valores expressos em MPa. O tipo de cone utilizado para a realização das coletas de dados foi o tipo 2 (médio), com 129 mm² de área da seção transversal do cone.

Massa seca da cobertura vegetal

A massa seca da matéria da cobertura vegetal foi coletada antes da operação de adubação, utilizando-se um quadro de madeira de 0,25 m² (Figura 13), que foi lançado aleatoriamente sobre a cobertura existente. Foram coletadas quatro amostras em cada parcela que foi seca em estufa a 65 °C até atingir massa constante, e os valores foram expressos em kg ha⁻¹. A cobertura do solo era constituída por vegetação espontânea, previamente dessecada.



Figura 13 - Quadro de madeira utilizado para a coleta da massa da cobertura vegetal

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 – Avaliação da Adubadora Puncionadora em Condições de Laboratório

4.1.1 - Avaliação da massa total aplicada pelo sistema dosador de fertilizantes

As principais características físicas do fertilizante utilizado no experimento são sumarizadas nas Tabelas 1 e 2. A caracterização completa está apresentada no Apêndice A.

Tabela 1 – Principais características físicas do fertilizante utilizado no experimento

Massa específica (g cm⁻³)	1,08
Umidade b.s. (%)	0,88
Ângulo de Repouso (°)	38,39
DMP* (mm)	265,78

* Diâmetro Médio Ponderado

Tabela 2 – Distribuição granulométrica do fertilizante utilizado no experimento

	Dimensão dos furos da peneira (mm)						
	4,00	2,38	1,68	1,19	0,70	0,50	Fundo
Quantidade de Fertilizante (%)	2,36	75,77	14,14	3,43	2,60	1,23	0,47

Apesar da significância do teste F para a regressão do modelo $y = \beta_0 + A\beta_1 + V\beta_2 + N\beta_3 + AV\beta_4 + AN\beta_5 + NV\beta_6 + AVN\beta_7 + \varepsilon$ o teste t (Tabela 3) para os coeficientes do nível de fertilizante no reservatório e das interações indicaram que estes efeitos não foram significativos.

Tabela 3 - Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivos testes para significância do modelo ajustado

Variável	Graus de liberdade	Parâmetros Estimados	Valores de “t”
Intercepto	1	-766.67657	-
A	1	333.41432	39.0863**
V	1	-68.80736	-2.8903**
N	1	0.68277	0.1680 ^{ns}
AV	1	-2.39072	-1.2771 ^{ns}
AN	1	-0.14205	-0.4369 ^{ns}
VN	1	-0.29766	-0.3361 ^{ns}
AVN	1	0.02435	0.3361 ^{ns}

**P<0.01; ^{ns} não significativo; t_{tabelado} = 2.692; A – Abertura do sistema dosador (mm); V – Velocidade angular da roda puncionadora (rad s⁻¹); N – Nível de fertilizante no reservatório (L).

Visto que o nível de fertilizante no reservatório não teve efeito significativo na massa aplicada pelo protótipo, foi ajustado um modelo de regressão em função apenas da abertura do dosador de fertilizantes e da velocidade rotacional da roda puncionadora. A equação ajustada obtida é apresentada na Equação 5.

$$\hat{Y} = -658,79299 + 322,16190A - 97,12654V \quad (5)$$

Em que:

\hat{Y} – Massa total de fertilizante aplicada pelo dosador, para os 50 metros de deslocamento simulado (g);

A – Abertura do dosador de fertilizantes (mm);

V – Velocidade rotacional da roda puncionadora (rad s⁻¹).

O teste F para a regressão e o teste t (Tabela 4) para os coeficientes de regressão do modelo ajustado foram significativos. O coeficiente de determinação para esta equação estimada foi de 98,4%.

Tabela 4 - Estimativas dos coeficientes de regressão e respectivos testes t para os coeficientes do modelo ajustado

Variável	Graus de Liberdade	Parâmetros estimados	Erro padrão	Valores de “t”
Intercepto	1	-658,79299	-	-
A	1	322,16190	1,135	283,7216**
V	1	-97,12654	3,9633	-24,5062**

**P<0,01; ^{ns} não significante; t_{tabelado} = 2,98 A – Abertura do sistema dosador (mm); V – Velocidade angular da roda puncionadora (rad s⁻¹).

A massa aplicada pelo dosador da adubadora puncionadora variou em função da velocidade, o que também foi observado em dosadores helicoidais para fertilizantes sólidos (Martins, 1999 e Capelli, 2000). Pode ser verificado, de acordo com a equação ajustada (Equação 5), que quando se aumenta a velocidade rotacional da roda puncionadora a massa de fertilizante aplicada diminui. A maior quantidade de fertilizante aplicada é nas menores velocidades e maiores aberturas da célula do dosador de fertilizantes. Se a abertura da célula é mantida fixa há um decréscimo de $1,94 \text{ g m}^{-1}$ de fertilizante aplicado para cada variação de 1 rad s^{-1} na velocidade angular do protótipo, que representa $1,15 \text{ km h}^{-1}$. A equação também mostra que mantendo a velocidade fixa, ocorre um aumento de $6,44 \text{ g m}^{-1}$ na quantidade de fertilizante aplicada para cada incremento de 1 mm na abertura da célula do dosador de fertilizante.

Yamamoto (2005) verificou um decréscimo de 0,22 g por cova com o incremento de 1 km h^{-1} e um aumento de 0,95 g com o incremento de 1 mm no mesmo sistema dosador, diferindo das 0,34 g decrescidas e das 1,29 g incrementadas, nas mesmas variações do sistema. Fato esse que pode ser explicado pela diferença das características físicas do fertilizante utilizado em ambos experimentos.

As Figuras 14 e 15 mostram a superfície de resposta e o mapa de contorno obtidas a partir da Equação 5. Estas figuras facilitam a visualização do efeito da velocidade e da abertura do dosador na massa de fertilizante aplicada.

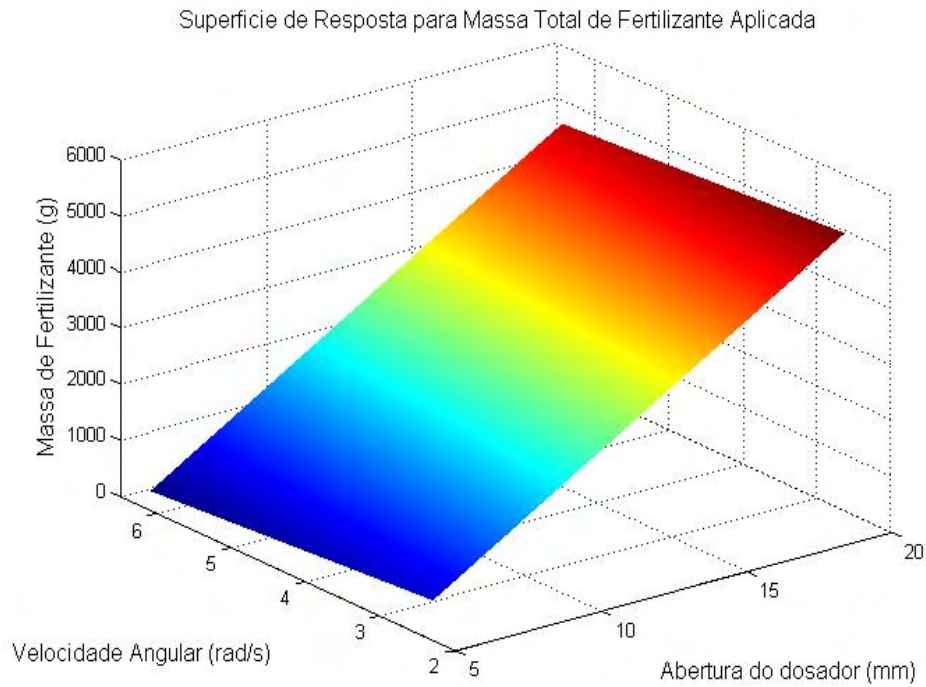


Figura 14 – Superfície de resposta para a equação da massa total aplicada em função da velocidade angular e da abertura do sistema dosador

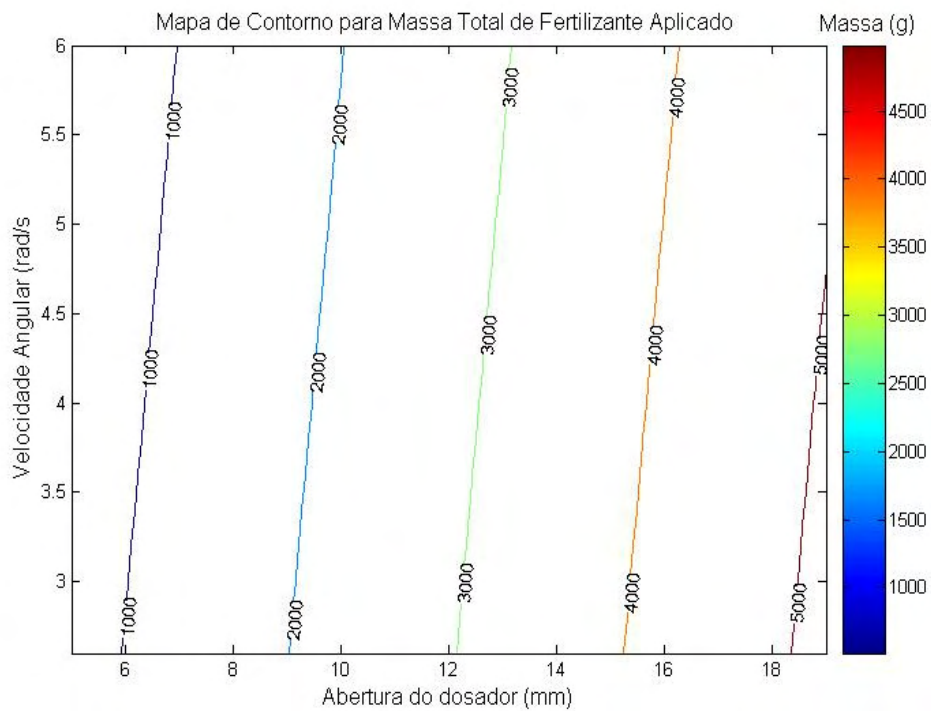


Figura 15 – Mapa de contorno para a equação da massa total aplicada em função da velocidade angular e da abertura do sistema dosador

A Tabela 5 apresenta os valores médios de fertilizante aplicado por cova, nas diferentes aberturas do dosador e velocidades de operação, considerando um espaçamento entre covas de 0,20 m o que totaliza 250 covas nos 50 metros simulados, no experimento em laboratório. A quantidade de fertilizante aplicada em um hectare considerando dois diferentes espaçamentos entre linhas da cultura também está apresentada. Verifica-se que a menor quantidade de fertilizante aplicada representa cerca de 7% da maior quantidade aplicada. Por meio da Tabela 5 é possível estimar a quantidade aplicada por hectare para utilização em aplicação de fertilizantes com características físicas similares ao utilizado no experimento.

Tabela 5 – Massa média de fertilizante aplicada por cova em função da abertura do sistema dosador e das velocidades rotacionais da roda puncionadora

A (mm)	V (rad s⁻¹)	Massa média aplicada por cova (g)	Massa aplicada utilizando E = 0,45 m (kg ha⁻¹)	Massa aplicada utilizando E = 0,90 m (kg ha⁻¹)
19,1	2,6	20,97	2329,76	1164,88
19,1	4,3	20,31	2256,38	1128,19
19,1	6,1	19,61	2178,68	1089,34
15,0	2,6	15,68	1742,71	871,36
15,0	4,3	15,02	1669,33	834,66
15,0	6,1	14,32	1591,63	795,81
11,5	2,6	11,17	1241,57	620,79
11,5	4,3	10,51	1168,19	584,09
11,5	6,1	9,81	1090,49	545,24
8,0	2,6	6,66	740,43	370,22
8,0	4,3	6,00	667,05	333,52
8,0	6,1	5,30	589,35	294,67
5,0	2,6	2,78	310,88	155,44
5,0	4,3	2,14	237,50	118,75
5,0	6,1	1,44	159,80	79,90

A – Abertura do dosador (mm); V – Velocidade Angular da roda puncionadora (rad s-1); E – Espaçamento entre linhas da cultura.

4.1.2 – Avaliação da massa aplicada pelo sistema distribuidor-dosador de fertilizantes, em laboratório

Por meio da utilização da Metodologia de Superfície de Resposta pode-se ajustar um modelo mais apropriado para caracterizar o ponto de operacionalidade ideal do dosador de fertilizantes.

Para facilitar a análise da superfície de resposta foi feita uma padronização das variáveis independentes, para efeito da análise estatística, como apresenta as Equações 6, 7 e 8, onde A é abertura do sistema dosador de fertilizantes, V a velocidade angular da roda puncionadora e N o nível de fertilizante no reservatório.

$$x_1 = \frac{A - 12,05}{7,05} \quad (6)$$

$$x_2 = \frac{V - 4,35}{1,75} \quad (7)$$

$$x_3 = \frac{N - 26,65}{13,35} \quad (8)$$

A Tabela 6 apresenta a análise de variância do modelo de superfície de resposta apresentado pela Equação 2. Pode-se verificar, por meio do teste F, que houve significância da regressão do modelo total, logo rejeita-se a hipótese $H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = \beta_7 = \beta_8 = \beta_9 = 0$. A Tabela 6 também mostra a contribuição de ambos os termos, linear, quadrático e produto cruzado, mostrando que todos os termos tiveram efeito significativo. Verifica-se também que os componentes lineares tiveram maior influência sobre a variável dependente massa de fertilizante aplicada acima da superfície.

Tabela 6 – Resultados parciais da análise de variância do modelo de superfície de resposta ajustado para a massa de fertilizante distribuída acima da superfície

Regressão	GL	SQ	R ²	Valores de F
Linear	3	13783213	0,6868	361,90**
Quadrático	3	2411094	0,1201	63,31**
Produto Cruzado	3	2287536	0,1140	60,06**
Modelo total	9	18481842	0,9209	161,76**

** P<0.01; n.s. não significativo; R² = coeficiente de determinação; F_{tabelado} = 1,585

A Tabela 7 apresenta os resultados do teste estatístico “t” para cada estimativa do coeficiente de regressão. Pode-se verificar que o nível de fertilizante no reservatório não teve efeito significativo na massa distribuída acima da superfície do solo, bem como a interação deste fator com os demais fatores.

Tabela 7 – Resultados do teste estatístico “t” para os parâmetros estimados do modelo com todas as variáveis para massa aplicada acima da superfície

Variável	Grau de Liberdade	Parâmetros estimados	Erro Padrão	Valores de t	Parâmetros estimados para as variáveis codificadas
Intercepto	1	1139,620596	197,1593	5,78**	188,835336
A	1	6,716225	13,4911	0,50 ^{ns}	144,418886
V	1	-728,447216	62,8410	-11,59**	378,423525
N	1	0,397274	9,3931	0,04 ^{ns}	-5,930801
A x A	1	-2,703154	0,4655	-5,81**	-134,353509
V x A	1	18,262433	1,3612	13,42**	225,312763
V x V	1	84,029858	6,7236	12,50**	257,344440
N x A	1	-0,019769	0,1715	-0,12 ^{ns}	-1,860626
N x V	1	-0,24183	0,5983	-0,40 ^{ns}	-5,639301
N x N	1	0,008381	0,1597	0,05 ^{ns}	1,493672

** P<0.01; ^{ns} não significativo; $t_{\text{tabelado}} = 2,98$ A – Abertura do sistema dosador (mm); V – Velocidade angular da roda puncionadora (rad s^{-1}); N – Nível de fertilizante no reservatório (L).

Desta maneira foi ajustado um modelo contendo apenas aqueles componentes, cujas estimativas foram significativas pelo teste t. Este modelo daqui por diante é denominado de modelo reduzido.

A Tabela 8 apresenta a análise de variância do modelo reduzido. Nota-se pelo teste F que todos os componentes do modelo reduzido foram significativos ao nível de 1 % de significância.

Tabela 8 – Análise da superfície de resposta para o modelo ajustado com as variáveis de efeito significativo para massa distribuída acima da superfície

Regressão	Graus de liberdade	Soma de quadrados	R ²	Valores de F
Linear	2	13780137	0,6866	558,21**
Quadrático	2	2411059	0,1201	97,67**
Produto Cruzado	1	2285301	0,1149	185,15**
Modelo total	5	18476497	0,9207	299,38**

** P<0.01; ^{ns} não significativo; R² = coeficiente de determinação; $F_{\text{tabelado}} = 1,96$ A – Abertura do sistema dosador (mm); V – Velocidade angular da roda puncionadora (rad s^{-1});

A Tabela 9 apresenta os resultados do teste estatístico “t” para os parâmetros estimados do modelo reduzido. Nota-se que todos os termos quadráticos tiveram efeito significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

Tabela 9 – Resultados do teste estatístico “t” para os parâmetros estimados do modelo com as variáveis de efeito significativo para a variável de resposta massa aplicada acima da superfície

Variável	Grau de Liberdade	Parâmetros estimados	Erro Padrão	Valores de t	Parâmetros estimados para as variáveis codificadas
Intercepto	1	1155,408788	147,517712	7,83	190,939424
A	1	6,233198	12,644733	0,49 ^{ns}	144,727829
V	1	-734,344998	60,263316	-12,19 ^{**}	379,359888
A x A	1	-2,703154	0,458996	-5,89 ^{**}	-134,353509
V x A	1	18,262433	1,342144	13,61 ^{**}	225,312763
V x V	1	84,029858	6,629626	12,67 ^{**}	257,341440

^{**} P<0.01; ^{ns} não significativo; ^t tabelado = 2.98

O coeficiente de determinação para o modelo ajustado foi de 92,07%, indicando que o modelo ajustado explica grande parte da variação da massa de fertilizante distribuído acima da superfície do solo.

A Equação 9 apresenta a estimativa do modelo de segunda ordem.

$$\hat{Y} = 1155,408788 + 6,233198A - 734,344998V - 2,703154A^2 + 84,029858V^2 + 18,262433AV \quad (9)$$

Em que:

\hat{Y} - Massa de Fertilizante Acima da Superfície, nos 50 metros simulados (g);

A - Abertura do Dosador de fertilizantes (mm)

V - Velocidade Angular da Roda Puncionadora (rad s⁻¹)

A Figura 16 apresenta o gráfico do modelo de superfície de resposta ajustado (Equação 9), em que a massa acima da superfície é função da abertura do dosador de fertilizantes e da velocidade angular da roda puncionadora. A Figura 17 mostra o mapa de contorno da superfície de resposta, por meio de isolinhas da massa aplicada acima da superfície em função da abertura do sistema dosador e da velocidade angular da roda puncionadora.

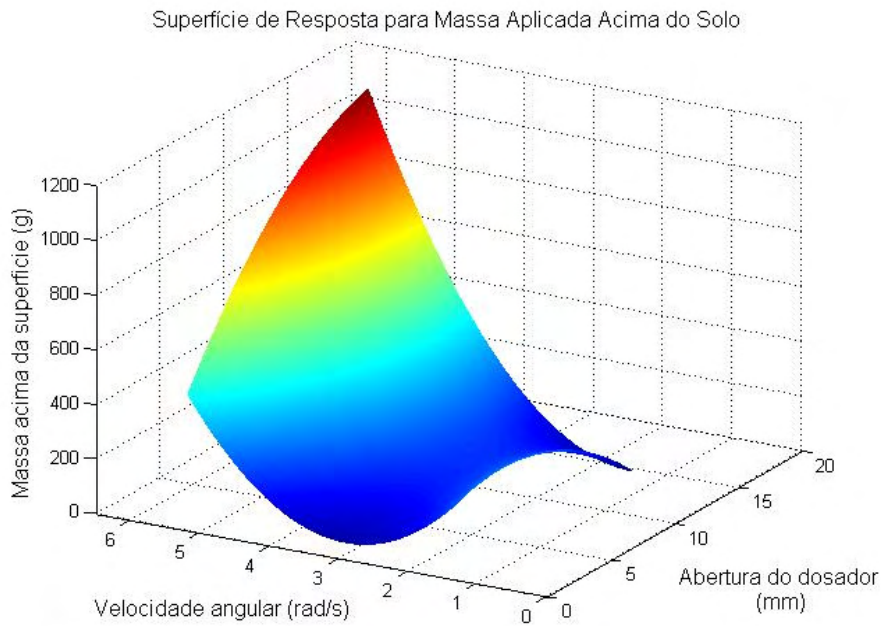


Figura 16 - Superfície de Resposta da massa de fertilizante distribuída acima da superfície do solo em função da velocidade angular da roda puncionadora e da abertura do sistema dosador

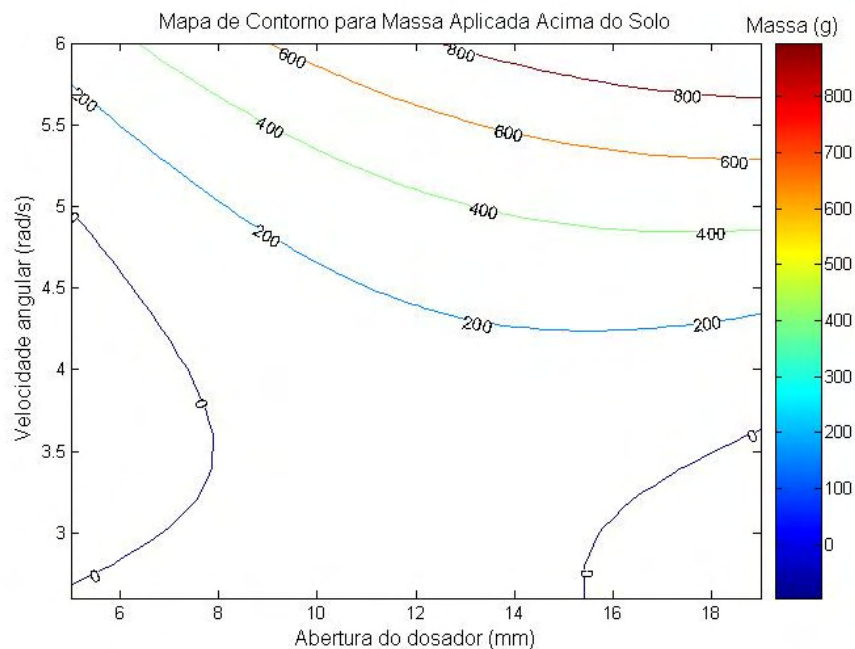


Figura 17 – Mapa de contorno do modelo de superfície de resposta ajustado para avaliar o sistema dosador de fertilizante em relação à massa distribuída acima da superfície do solo

A natureza do ponto estacionário da superfície de resposta ajustada (Figura 16) foi determinada pelos sinais dos autovalores da matriz dos coeficientes do modelo de regressão ajustado. Os autovalores, bem como a resposta estimada no ponto estacionário foram encontrados por meio de uma rotina computacional realizada no programa computacional SAS onde os resultados estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Autovalores e resposta estimada no ponto estacionário da superfície de resposta estimada baseada nos dados codificados

Fator	Autovalores	Valores Críticos	
		Codificado	Não Codificado
A	287,431332	-0,058105	11,640357
V	-164,443401	-0,711638	3,104633
Valor predito no ponto estacionário (g)			51,751195

Como os autovalores não apresentam o mesmo sinal, pode-se concluir que o ponto estacionário é um ponto de sela. O ponto-sela não representa nem um ponto de máximo nem de mínimo, porém pode representar um ponto crítico numa região particular da superfície de resposta (Myers & Montgomery, 1995). Os níveis dos fatores para este ponto-sela são de 11,64 mm para a abertura do dosador de fertilizante e $3,10 \text{ rad s}^{-1}$ para a velocidade rotacional da roda punçadora, ou seja, uma velocidade de deslocamento equivalente a $3,57 \text{ km h}^{-1}$. A estimativa para massa de fertilizante na superfície neste ponto de sela é de 51,75 g.

Ao substituir, os níveis dos fatores correspondentes ao ponto estacionário na equação ajustada (Equação 5), obtêm-se a estimativa de $54,77 \text{ g m}^{-1}$ caindo acima da superfície do solo. Nesse ponto de funcionamento cerca de $1217,00 \text{ kg ha}^{-1}$ de fertilizante estaria sendo aplicados acima da superfície, considerando um espaçamento entre linhas da cultura de 0,90 m; e $608,55 \text{ kg ha}^{-1}$, para um espaçamento entre linhas da cultura de 0,45 m. Considerando que a massa aplicada acima da superfície do solo é igual à resposta estimada no ponto estacionário, tem-se 2738,33 g, ou seja, 98,15% da massa total aplicada abaixo da superfície do solo. Este valor é considerado ótimo se a adubadora for operada em tais condições.

Observa-se na Figura 17 que ocorre um aumento da massa distribuída acima da superfície para valores maiores de $4,5 \text{ rad s}^{-1}$ para velocidade angular

e de 6 mm para abertura do sistema dosador até os valores máximos de 6,1 rad s⁻¹ e 19,1 mm.

4.2 – Avaliação da Adubadora Puncionadora em Condições de Campo

4.2.1 – Avaliação do efeito do uso de lastro na profundidade de deposição do fertilizante

As principais características do solo da área experimental estão apresentadas na Tabela 11 e a caracterização completa encontra-se no Apêndice B.

Tabela 11 – Principais características físicas do solo da área experimental

	Média	Máximo	Mínimo	DP	CV (%)
Umidade <i>b.u.</i> (%)	25,4	47,21	19,9	4,71	18,54
Massa específica (g cm⁻³)	1,43	1,8	1,09	0,18	12,82
Massa Seca da Cobertura (kg ha⁻¹)	3417,4	9739,38	651,25	2245,56	65,71
IC 15 (MPa)	0,71	2,04	0,22	0,40	56,28

* IC 15 - Índice de cone na profundidade de 0,15 m. DP – Desvio Padrão; CV – Coeficiente de Variação.

A profundidade de deposição do fertilizante pode influenciar o estande de plantas, bem com interferir no crescimento das mesmas pela dificuldade de absorção dos nutrientes pelas raízes. Em relação às perdas de nitrogênio por volatilização e imobilização, recomenda-se a pelo menos 0,05 m de profundidade de deposição. A Tabela 12 apresenta a média da profundidade de deposição do fertilizante em função dos lastros acoplados ao protótipo de adubadora.

Tabela 12 - Profundidade média de deposição de fertilizante em cada um dos níveis de lastros avaliados

Lastro adicionado (kg)	Profundidade (cm)
0	4,6
25	5,3
40	6,1
65	6,2

Os resultados da análise de variância da regressão, de um modelo linear de primeiro grau, para avaliar o efeito do lastro na profundidade de deposição de fertilizante são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Análise de variância da regressão da profundidade de deposição de fertilizante em função dos lastros

FV	GL	SQ	QM	Valores de F
Modelo	1	12,434	12,434	20,0494**
Falta de ajuste	2	1,1682	0,58412	0,94189 ^{n.s.}
Tratamentos	3	13,602		
Resíduo	28	17,365	0,62016	
Total	31	30,967		

** P<0,01; ^{n.s.} não significativo; F1%(1,28) = 7,64; F1%(2,28) = 5,45

O teste F para a falta de ajuste do modelo foi não significativo. Este resultado indica que o modelo linear de primeiro grau pode ser usado para avaliar o efeito do lastro na profundidade de deposição do fertilizante. O teste F para o modelo de regressão linear de primeiro grau indica que o nível de lastro acoplado ao protótipo influencia significativamente a profundidade que o fertilizante é depositado no solo, para a faixa de lastros estudada (0 a 65 kg).

Logo, a equação ajustada foi (Equação 10):

$$P = 4,7029 + 0,02643 L \quad (10)$$

Em que:

P – Profundidade de aplicação de fertilizante (cm)

L – Massa do lastro adicionado (kg)

O coeficiente de determinação, 91,41%, indica que a maior parte da variação da profundidade de deposição do fertilizante é explicada pela variação dos níveis de lastros utilizados. Portanto, este modelo pode ser utilizado para prever a massa de lastros necessária para que uma determinada profundidade seja atingida. Na Figura 18 é apresentado o gráfico do modelo de regressão linear do modelo ajustado para a profundidade de aplicação de fertilizantes.

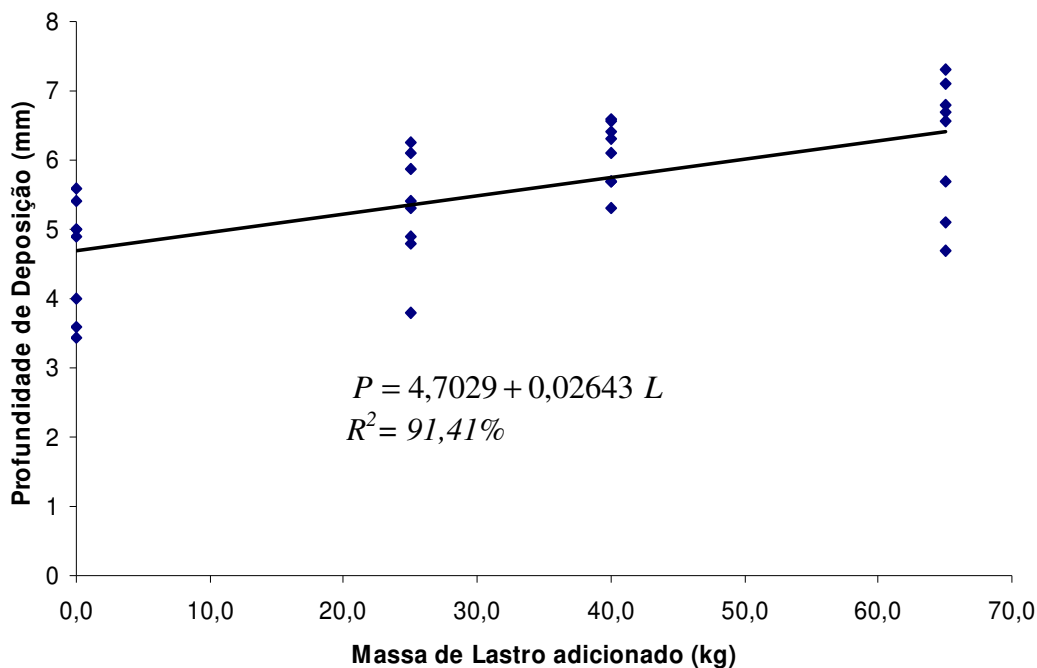


Figura 18 – Profundidade de deposição de fertilizante em função dos lastros acoplados ao protótipo de uma adubadora puncionadora

Com esses resultados pode-se verificar que a profundidade de aplicação requerida para minimizar as perdas de nitrogênio de pelo menos 0,05 m, foi atingida com a utilização de todos os lastros. A profundidade de aplicação de 0,05 m não foi observada apenas no tratamento sem a utilização dos lastros. Para que a profundidade recomendada por Lopes *et al.* (2004) seja atingida, a adubadora necessariamente terá que ter lastros adicionados quando trabalhar em condições similares ao do experimento.

Para atingir a profundidade mínima de 0,05 m, utilizando o modelo ajustado para predição, seria necessária a adição de 11,25 kg de lastro à adubadora puncionadora, em condições semelhantes as existentes quando foi realizado o experimento de campo.

4.2.2 – Avaliação da distância entre covas

A Tabela 14 apresenta a distância média entre covas após a passagem da adubadora puncionadora em função dos lastros adicionados a mesma. Nota-se que a distância entre covas não teve uma grande variação em função dos lastros adicionados.

Tabela 14 – Distância média entre covas em função de diferentes lastros adicionados a adubadora puncionadora

Lastro adicionado (kg)	Distância média entre covas (cm)
0	19,6
25	19,5
40	19,5
65	19,3
Valor médio	19,5

Os resultados da análise de variância da regressão, de um modelo linear de primeiro grau, para avaliar o efeito do lastro na distância entre covas são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Resultados da análise de regressão para a distância entre covas, em função de diferentes lastros

FV	GL	SQ	QM	Valores de F
Modelo	1	0,33526	0,33526	1,4082 ^{n.s.}
Falta de ajuste	2	0,025681	0,012841	0,053934 ^{n.s.}
Tratamentos	3	0,36094		
Resíduo	28	6,6663	0,23808	
Total	31	7,0272		

** P<0,01; ^{n.s.} não significativo; F1%(1,28) = 7,64; F1%(2,28) = 5,45

O teste F não-significativo para a falta de ajustamento (Tabela 15) indica que o modelo linear de primeiro grau pode ser usado para estudar o efeito dos níveis de lastro na distância entre covas. Contudo, o teste F não-significativo para a regressão (Tabela 15) indica que a adição de lastros não teve influência significativa sobre a distância entre covas. Com isso, se houve deslizamento da roda puncionadora, este se manteve constante. O deslizamento da roda puncionadora não pode ser calculado, pois o deslocamento da máquina no campo não foi medido, a uma mesma velocidade de trabalho.

O deslizamento constante da roda puncionadora facilita a regulagem da adubadora, visto que a mesma taxa de fertilizante será aplicada, numa área em particular, independente da quantidade de lastros adicionados, pois a quantidade de fertilizante será dependente somente da abertura do sistema dosador.

4.2.3 – Avaliação da Mobilização do Solo

Na Tabela 16 é apresentada a média do volume de solo mobilizado observado por cova após a passagem da adubadora puncionadora em função dos lastros adicionados e também apresenta o volume médio mobilizado por metro linear, considerando-se um espaçamento entre covas de 0,20 m, totalizando 5 covas por metro.

Tabela 16 – Volume de solo mobilizado observado, por cova e por metro linear, em função de diferentes lastros adicionados a adubadora puncionadora

Lastro adicionado (kg)	Volume médio de solo mobilizado por cova (ml)	Volume médio de solo mobilizado por metro linear (ml)
0	93,5	467,5
25	115,0	575,0
40	120,5	602,5
65	117,1	585,5
Valor médio	111,5	557,63

O teste F não-significativo para a falta de ajustamento indicou que o modelo de regressão linear de primeiro grau é adequado para estudar a variação da mobilização em função dos níveis de lastros adicionados (Tabela 17). Assim, o modelo de primeiro grau foi utilizado para avaliar o efeito dos lastros na mobilização do solo após a passagem da adubadora puncionadora.

Tabela 17 – Resultados da análise de regressão da mobilização do solo, após a passagem da adubadora puncionadora, em função de diferentes lastros

FV	GL	SQ	QM	Valores de F
Modelo	1	2335,800	2335,800	4,9314*
Falta de ajuste	2	1237,600	618,800	1,3064 ^{n.s.}
Tratamentos	3	3573,400		
Resíduo	28	13262,000	473,650	
Total	31	16835,400		

* P<0,05; ^{n.s.} não significativo; F1%(1,28) = 7,64; F1%(2,28) = 5,45; F5%(1,28) = 4,20; F5%(2,28) = 3,34

A equação ajustada para a mobilização do solo em função dos níveis de lastro é apresentada na Equação 11:

$$M = 99,7330 + 0,36225 L \quad (11)$$

Em que:

M – Mobilização do solo (ml)

L – Valor do lastro adicionado (kg)

O valor do coeficiente de determinação de 65,37% para o modelo ajustado para descrever a mobilização do solo em função dos níveis de lastro. A Figura 19 apresenta o gráfico do modelo de regressão ajustado.

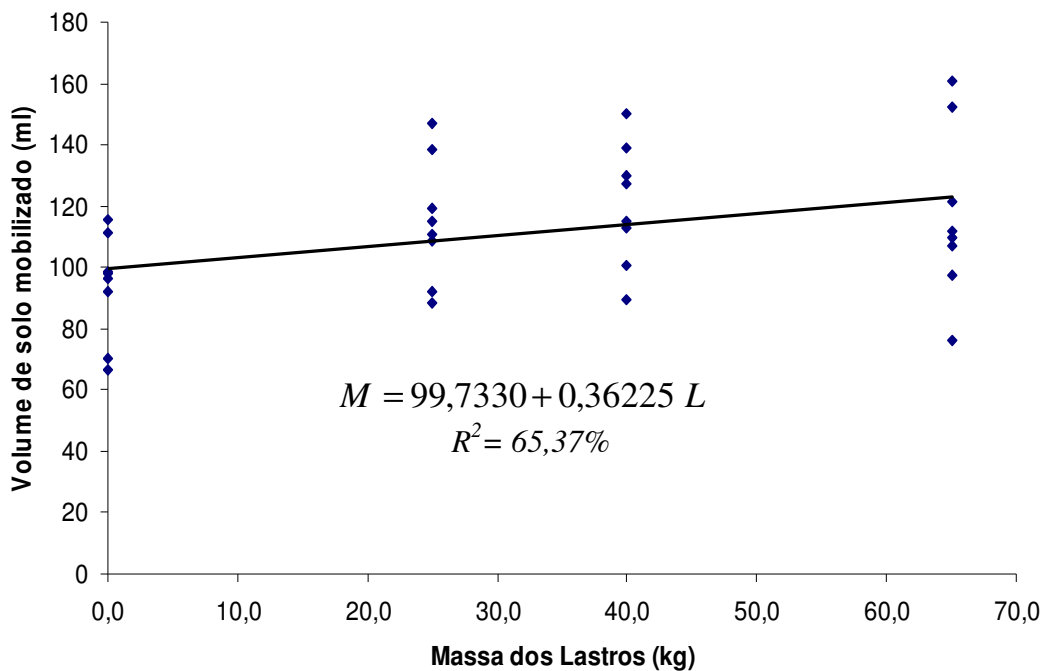


Figura 19 - Gráfico da equação de regressão ajustada da mobilização do solo, ocasionada pelo mecanismo abridor de covas da adubadora puncionadora, em função de diferentes níveis de lastros

Os resultados obtidos indicam que a mobilização do solo foi muito pequena quando comparada aos obtidos ao utilizar adubadoras convencionais, para a abertura de sulcos. O maior valor encontrado foi de $0,616 \text{ L m}^{-1}$ ($0,616 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$), com a utilização da maior carga, considerando a abertura de 5 covas por metro linear.

Coelho (1998) avaliando diferentes combinações de elementos sulcadores de semeadoras-adubadoras, verificou que a utilização de facas

sulcadoras foi o elemento que mais mobilizou o solo. Já quando foram utilizados elementos compostos por discos foi observada uma menor área de sulco e conseqüentemente uma menor mobilização do solo. O menor valor observado pelo autor foi de $7,68 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$, utilizando discos duplos para semeadura e adubação.

Se os valores descritos acima forem comparados com os resultados obtidos verifica-se que o mecanismo puncionador para adubação mobilizaria $7,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de solo, em 12500 metros lineares, cerca de 12,5 vezes menor. Mesmo se fossem utilizados dois mecanismos puncionadores em conjunto, um para adubação e outro para semeadura, e o volume mobilizado fosse considerado o mesmo para ambos, o volume mobilizado ainda seria 6,3 vezes menor.

A baixa mobilização do solo é favorável a utilização do mecanismo para operação no sistema de plantio direto, visto que esse, por mobilizar menos o solo, pode contribuir ainda mais para a redução de processos erosivos do mesmo.

A maior massa, de fertilizante, por cova, aplicada pelo mecanismo dosador predita pela Equação 5, é de 20,97 g. Considerando-se uma massa específica média do fertilizante de $1,08 \text{ g cm}^{-3}$, tem-se um volume de fertilizante máximo aplicado de $19,42 \text{ cm}^3$. O volume ocupado pelo fertilizante na menor cova observada é de aproximadamente 21 %, o que sugere punções mais estreitas. Sendo assim, a mobilização do solo poderá ser ainda menor e a penetração das punções no solo seria mais fácil.

A Figura 20 apresenta uma imagem das covas abertas após a passagem da adubadora, durante umas das repetições com 40 kg de lastros (L_2), numa unidade experimental com cobertura vegetal mais densa. Pode-se observar que o mecanismo puncionador mobiliza uma pequena porção do solo e da palha presente sobre o solo. Também pode-se observar que em grande parte das covas abertas o fertilizante ficou exposto, devido ao não fechamento das covas. Desta maneira, para utilização do mecanismo puncionador para a aplicação de fertilizantes seria necessário a instalação de uma roda compactadora posterior ao mecanismo.



Figura 20 – Imagem adquirida após a passagem da adubadora puncionadora demonstrando a mínima mobilização do solo e da palha em cinco covas

A Figura 21 apresenta uma imagem de duas linhas de adubação em um solo com cobertura vegetal menos densa, num tratamento com 25 kg de lastro (L1).

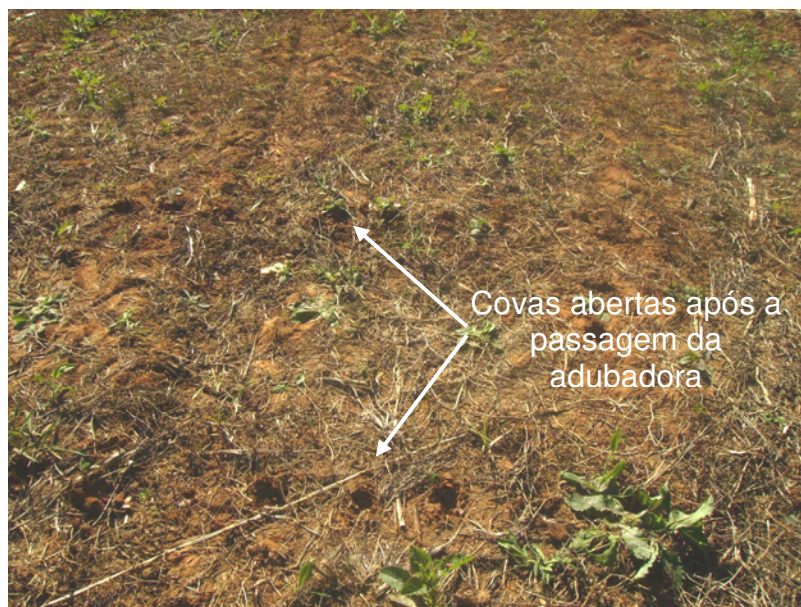


Figura 21 – Imagem adquirida após a passagem da adubadora puncionadora demonstrando a mínima mobilização do solo, em duas linhas de adubação

5 – CONCLUSÕES

Com o presente trabalho pode-se concluir:

- O nível de fertilizante dentro do reservatório não teve efeito sobre a massa aplicada. A velocidade angular da roda puncionadora teve influência sobre a massa aplicada. O mecanismo dosador proposto deve ser calibrado na velocidade de trabalho desejada antes de sua utilização para minimizar este efeito.

- O desempenho dos mecanismos dosador e defletor de fertilizante foi julgado satisfatório.

- O mecanismo distribuidor de fertilizante é influenciado pela velocidade de trabalho, pela abertura do sistema dosador e pela interação desses fatores. A velocidade rotacional da roda puncionadora, e a abertura do sistema dosador de fertilizante, que proporcionaram a melhor distribuição de fertilizante foram de $3,10 \text{ rad s}^{-1}$ e 11,64 mm, respectivamente.

- Nas condições onde o sistema distribuidor trabalha de maneira otimizada, quanto a velocidade de deslocamento e vazão de fertilizante, 98% da massa de fertilizante é aplicada abaixo da superfície do solo, sendo este um valor muito bom.

- A adição de lastros é necessária para que a profundidade mínima requerida de 5 cm seja atingida, sendo este no valor de 11,25 kg, nas condições estudadas.

- A mobilização do solo foi influenciada pela adição de lastros, porém mesmo com a maior carga adicionada, essa foi considerada baixa quando comparadas as adubadoras convencionais. Isso confere a adubadora um potencial de aplicação nos sistemas conservacionistas de preparo do solo.

- O volume da cova ocupado pelo fertilizante é pequeno, ou seja, 21% do volume da menor cova observada. Com isso a possibilidade de estreitarem-se as punções é viável, o que facilitaria a penetração no solo e poderia reduzir ainda mais a mobilização do solo.

6- SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados dos testes, em laboratório e em campo, e nos aspectos operacionais durante o experimento algumas sugestões para melhoria dos mecanismos e componentes da adubadora puncionadora serão dadas:

- Para facilitar a variação da abertura do sistema dosador e aumentar a vida útil do mesmo, sugere-se que sua construção seja feita com material mais resistente à corrosão, como aço inoxidável.

- Há a necessidade da construção de um dispositivo que facilite a regulagem do sistema dosador de fertilizante, podendo ser essa regulagem ser realizada de forma automatizada para a aplicação à taxa variável em agricultura de precisão.

- A roda puncionadora, bem como sua estrutura de sustentação, deverá ser construída com maior robustez, o que poderá contribuir para o aumento na profundidade de deposição do fertilizante sem a necessidade do uso de lastros.

- Um dispositivo para fechamento das covas deverá ser adicionado a adubadora, pois as covas permaneceram abertas expondo o fertilizante aplicado.

- A forma pela qual se realiza o fechamento das duas partes da roda puncionadora deve ser modificada, devido a angulação do eixo. Este ângulo dificulta que o parafuso de fixação, que une as duas partes da roda puncionadora, seja rosqueado. Para isso poderia ser construído um sistema de guias para que o encaixe do parafuso seja realizado com maior facilidade.

- A construção de punções mais estreitas poderia facilitar a penetração das mesmas no solo, com uma possível redução no volume de solo mobilizado. Além de serem mais estreitas essa deverão ser tratadas termicamente para aumentar sua durabilidade e resistência mecânica.

- A velocidade de operação da máquina deve ser aumentada consideravelmente, buscando desempenho similar às adubadoras que aplicam fertilizantes em sulco para pelo menos 5 km h^{-1} .

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, J.C., MALAVOLTA, E., BORGES, A. L., MUNIZ, A. S., VELOSO, C. A., FABRÍCIO, A. C., VIEGAS, L. J. M.. Avaliação da Higroscopicidade de fertilizantes e corretivos. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, SP, v49, n1, 137-144,1992.

ARAÚJO, L. A. N., FERREIRA, M. E., CRUZ, M. C. P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 39, n.8, p 771-777, agosto de 2004.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**, 1ª edição, São Paulo, SP, Manole, 1987, 307 p.

BAKER, J. L., LAFLEN, J. M., SCHREIBER, M. M. Potential for localized compaction to reduce leaching of injected anions. **Journal of Environmental Quality**. v26, n2: 387-393. 1997.

BAUTISTA, E. U., KOIKE, M., SUMINISTRADO, D. C. Mechanical Deep Placement of Nitrogen in Wetland Rice. Review Paper. **Journal of Agricultural Engineering Research. Silsoe Research Institute**, v78, n4, 333-346, 2001.

BELZER, P. S. Point Injection: Viable Option for Growers. Bulletin Number 4P16-18, Fertilizer Technology. **Nutra-Flo's Online Resource for Agricultural Fertilizer**, 2008.

BIANCHINI, A., SABINO, M. H. C., BORGES, P. H. M., SGUAREZZI, J. J. 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,

CAPPELLI, N. L., UMEZU, C. K., MARTINS, M. M.. Avaliação de desempenho de um dosador helicoidal para aplicação de fertilizantes sólidos. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 20, n.2, p. 130-138, maio de 2000.

CASÃO JÚNIOR, R.; ARAÚJO, A.G.; RALISH, R. Desempenho da semeadora adubadora Magnum 2850 em plantio direto no basalto paranaense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.3, p.523-32, 2000.

COELHO, J. L. D. **Avaliação de elementos sulcadores para semeadoras-adubadoras utilizadas em sistemas conservacionistas de manejo do solo**. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas - Campinas – SP, 1998.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Manual e métodos de análise do solo**. 2 ed. rev. Atual. Rio de Janeiro. 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA.
Sistema Brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999, 412p.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA - FEBRAPDP.
Área de plantio direto no mundo. Disponível em: <
<http://www.febrapdp.org.br>>. Acesso em 28 de agosto de 2007.

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

INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION (Paris, França).
Fertilizer use by crop. 5th ed. Disponível em: <<http://www.fertilizer.org>>.
Acesso em 26 de abril de 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE.
Levantamento sistemático da produção agrícola. Disponível em:
<http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 26 de abril de 2008.

JONES, C. JACOBSEN, J. Fertilizer Placement and Timing. **Nutrient Management Module, Number 11.** Montana State University. Extension Service, 2003.

KIEHL, E. J.. **Manual de Edafologia: Relações solo-planta.** Editora Agronômica Ceres, São Paulo - SP, 1979, 262 p.

KOPPEN, W. **Climatologia con un estudio de los climas de la tierra.** México, Fondo de Cultura econômica, 1948, 478 p.

KURACHI, S. A. H. SILVEIRA, G. M., COSTA, J. A. S., MORAES, R. A. B. M., BERNARDI, J. A., MOREIRA, C. A., PETRONI, A. C., SILVA, J. R., MESQUITA, C. M.. **Código de Avaliação de Semeadoras e/ou Adubadoras.** Documento IAC, Campinas – SP, n 3, 1986.

LEMAIRE, G., GASTAL, F.N. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIER, G. (Ed.). **Diagnosis of the nitrogen status in crops.** Berlin: Springer, 1997. p.3-43.

LOPES, A. S., WIETHÖLTER, S., GUILHERME, L. R. G., SILVA, C. A.
Sistema Plantio Direto: Bases para o manejo da fertilidade do solo. Associação Nacional para Difusão de Adubos. São Paulo – SP, 2004, 115 p.

MALAVOLTA, E. **ABC da Adubação.** Editora Agronômica Ceres, São Paulo – SP, 1979, 256 p.

MARTINS, M. M. **Desenvolvimento de um dosador helicoidal visando a sua utilização em equipamentos de aplicação localizada de fertilizantes sólidos.** 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas - Campinas – SP, 1999.

MOLIN, J.P., BASHFORD, L.L., GRISSO, R.D., JONES, A.J.. Population rate changes and other evaluation parameters for a punch planter prototype. **Transactions of the ASAE**, v. 41, n. 5, p.1265-1270, 1998.

MYERS, R. H., MONTGOMERY, D. C. **Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments**. Wiley Series in Probability and Statistics. Wiley-Interscience Publication, New York, 1995.

OLIVEIRA, J. M. S., CAÍRES, E. F. Adubação nitrogenada em cobertura para o milho cultivado após aveia preta no sistema plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 25, no. 2, p. 351-357, 2003.

PORTELLA, J.A.; SATLER, A.; FAGANELLO, A. Índice de emergência de plântulas de soja e de milho em semeadura direta no sul do Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 2, p. 71-78, 1997.

RASMUSSEN, J. Punch planting, flame weeding and stale seedbed for weed control in row crops. **Weed Research**, v.43, p. 393-403, 2003.

RESENDE, R.C. **Design of a novel punch planter capable of producing equidistant seed spacing of irregular shaped seeds**. 2002. 229f. (Tese de doutorado). Cranfield University – Silsoe, Inglaterra.

SÁ, J.C.M. **Manejo de nitrogênio na cultura do milho no sistema de plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 23p.

SANGOI, L., ERNANI, P. R., LECH, V. A., RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 33, n. 4, p. 687-692, Jul/Ago, 2003.

SAS Institute. **SASOnline Doc**. Version 8, SAS Institute Inc., Cary, USA, 1999.

SASAKI, C. M., GONÇALVES, J. L. M, BENTIVENHA, S. R. P. Desempenho operacional de hastes subsoladoras em função da ponteira e do tipo do solo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n. 67, p. 44-52, abr. 2005.

SILVA, A. B., RESENDE, M., SOUZA, A. R., MARGOLIS, E. Mobilização do solo, erosão e produtividade de milho e feijão em um regossolo no agreste de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.2, p.299-307, fev. 1999.

TAMAYO, J. H. C. **Mobilização do solo utilizando combinações de discos duplos e hastes parabólicas para pratica do cultivo**. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas - Campinas – SP, 2002.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. **Area, Yield, and Production. Disponível em** <<http://www.usda.gov>> . Acesso em 26 de abril de 2008.

VILLIBOR, G. P., LOUREIRO, D. R.. **Projeto e Ensaio em Laboratório de uma Adubadora Puncionadora para o Plantio Direto.** Relatório Final de Projeto Integrado. Universidade Federal de Viçosa – Viçosa – MG, setembro, 2006.

YAMAMOTO, N. T. **Desenvolvimento de um mecanismo para adubação pontual em cobertura em sistema de plantio direto.** 71 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa – Viçosa - MG , 2005.

8- APÊNDICES

APÊNDICE A
CARACTERÍSTICAS DO FERTILIZANTE UTILIZADO NO EXPERIMENTO

Marca: Fertipar

Composição Química: NPK 20 5 20 – Mistura de Grânulos

Principais Características físicas

Amostra	Massa específica (g cm⁻³)	Umidade <i>b.s.</i> (%)	Ângulo de Repouso (°)
1	1,12	0,759	37,91
2	1,04	0,781	39,34
3	1,09	1,085	37,91
Média	1,08	0,875	38,39

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA E DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO (DMP)

Amostra 1			
Número da peneira	Tamanho mm/um	Massa retida (%)	DMP (mm)
1	4	2,78	289,67
2	2,38	74,13	
3	1,68	14,52	
4	1,19	3,70	
5	700	2,94	
6	500	1,25	
7	Fundo	0,69	

Amostra 2			
Número da peneira	Tamanho mm/um	Massa retida (%)	DMP (mm)
1	4,00	2,42	231,44
2	2,38	78,81	
3	1,68	12,15	
4	1,19	3,13	
5	700	2,23	
6	500	1,06	
7	Fundo	0,19	

Amostra 3			
Número da peneira	Tamanho mm/um	Massa retida (%)	DMP (mm)
1	4	1,87	276,24
2	2,38	74,36	
3	1,68	15,74	
4	1,19	3,46	
5	700	2,64	
6	500	1,39	
7	Fundo	0,53	

APÊNDICE B

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Unidade Experimental	Teor de Água <i>b.u</i> (%)	Massa Específica do solo (g cm ⁻³)	Massa Seca da Cobertura Vegetal (kg há ⁻¹)	Resistência à penetração IC 15 (MPa)
				15 cm
1	25,33	1,22	4806,25	0,33
2	21,21	1,22	5443,13	0,35
3	25,75	1,35	1720,00	0,46
4	21,63	1,39	5546,25	0,31
5	26,16	1,44	4076,88	0,86
6	24,45	1,68	3431,25	0,78
7	24,89	1,40	2728,13	0,59
8	21,59	1,69	2892,50	0,31
9	25,64	1,52	7258,13	1,00
10	26,01	1,32	8408,75	0,72
11	26,89	1,26	1413,13	0,39
12	27,01	1,24	3748,13	0,86
13	19,90	1,09	1986,25	0,53
14	23,12	1,09	5352,50	0,51
15	28,87	1,43	2758,75	0,52
16	26,22	1,46	2421,25	0,41
17	25,30	1,31	2905,00	1,52
18	22,86	1,57	1812,50	0,52
19	22,62	1,69	1186,25	1,19
20	22,15	1,31	651,25	1,58
21	31,84	1,65	9739,38	0,50
22	23,56	1,47	1692,50	0,94
23	25,44	1,28	2352,50	1,24
24	28,95	1,51	2190,00	0,65
25	26,97	1,54	1352,50	0,36
26	22,84	1,44	1756,88	1,09
27	47,21	1,80	3498,13	0,99
28	25,10	1,29	7131,88	0,68
29	24,29	1,43	2278,75	0,74
30	22,57	1,78	1478,13	0,57
31	23,20	1,36	1523,75	0,45
32	23,14	1,51	3815,00	1,79
Média	25,40	1,43	3417,37	0,71

APÊNDICE C

DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS NO EXPERIMENTO REALIZADO EM CAMPO

Unidade Experimental	Tratamento	Descrição	
		Lastro (kg)	Repetição
1	L 3 R1	60	1
2	L 1 R1	25	1
3	L 2 R1	40	1
4	L 0 R1	0	1
5	L 3 R2	60	2
6	L 2 R2	40	2
7	L 1 R2	25	2
8	L 1 R3	25	3
9	L 0 R2	0	2
10	L 2 R3	40	3
11	L 3 R3	65	3
12	L 1 R4	25	4
13	L 0 R3	0	3
14	L 2 R4	40	4
15	L 2 R5	40	5
16	L 1 R5	25	5
17	L 0 R4	0	4
18	L 3 R4	60	4
19	L 0 R5	0	5
20	L 3 R5	60	5
21	L 1 R6	25	6
22	L 2 R6	40	6
23	L 3 R6	60	6
24	L 2 R7	40	7
25	L 0 R6	0	6
26	L 1 R7	25	7
27	L 3 R7	60	7
28	L 0 R7	0	7
29	L 2 R8	40	8
30	L 1 R8	25	8
31	L 3 R8	60	8
32	L 0 R8	0	8