

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

**AVALIAÇÃO E CRITÉRIO PARA A UTILIZAÇÃO DE
SEMEADORA COM SISTEMA DE TAXA VARIÁVEL
DE SEMENTES NA CULTURA DA SOJA**

TESE DE DOUTORADO

Daniel Uhry

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

**AVALIAÇÃO E CRITÉRIO PARA A UTILIZAÇÃO DE
SEMEADORA COM SISTEMA DE TAXA VARIÁVEL DE
SEMENTES NA CULTURA DA SOJA**

Daniel Uhry

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Schlosser

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

Uhry, Daniel

AVALIAÇÃO E CRITÉRIO PARA A UTILIZAÇÃO DE SEMEADORA COM SISTEMA DE TAXA VARIÁVEL DE SEMENTES NA CULTURA DA SOJA / Daniel Uhry.-2013.

141 p.; 30cm

Orientador: José Fernando Schlosser

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2013

1. Velocidade de semeadura 2. Relevo 3. Agricultura de precisão
I. Schlosser, José Fernando II. Título.

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

©2013

Todos os direitos autorais reservados a Daniel Uhry. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Centro de Ciências Rurais, Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas (NEMA), Laboratório de Agrotecnologia (Agrotec). Av. Roraima, n.º 1000 – Bairro Camobi – Santa Maria/RS. CEP 97105 – 900. E-mail: d_uhry@hotmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova o documento de Tese de Doutorado

**AVALIAÇÃO E CRITÉRIO PARA A UTILIZAÇÃO DE SEMEADORA
COM SISTEMA DE TAXA VARIÁVEL DE SEMENTES NA CULTURA
DA SOJA**

elaborado por
Daniel Uhry

como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof. Dr. José Fernando Schlosser
(Presidente/Orientador) UFSM



Prof. Dr. Luis Marcelo Costa Dutra (UFSM)



Prof. Dr. Valmir Werner (UFSM)



Prof. Dr. Carlos Ricardo Trein (UFRGS)



Prof. Dr. Alexandre Russini (UNIPAMPA)

Santa Maria, setembro de 2013.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho...

...aos meus pais Darci Francisco Uhry e Célia Antonow Uhry pela educação, ensinamentos, dedicação, amor e carinho. A vocês que sempre me oportunizaram os melhores estudos, superando inúmeras dificuldades e, sempre colocando seus filhos como prioridades, abdicaram, muitas vezes, de seus sonhos, para que os nossos fossem realizados. A vocês, meu eterno muito obrigado.

...ao meu irmão Darci Francisco Uhry Junior, no qual sempre me espelhei, pelos conselhos, amizade, ajuda, companheirismo e apoio.

...a minha avó Santa Hida Antonow (*in memorian*), pelo amor, atenção, dedicação, ensinamentos, convivência, carinho e, principalmente, pelo exemplo de pessoa que foi.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do **CNPq**, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil.

Agradeço:

À **minha família**, por todo o apoio, suporte e compreensão que tiveram durante todos esses anos.

À **Universidade Federal de Santa Maria**, instituição a qual me proporcionou qualificação profissional desde cursos técnicos, através do Colégio Agrícola de Frederico Westphalen e Colégio Agrícola de Santa Maria, a graduação em Agronomia, o Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia e, por fim, o Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Além da qualificação profissional, estes cursos me proporcionaram experiências de vida, que servirão para superar obstáculos que por ventura surjam, no decorrer da carreira.

Ao **Professor Dr. José Fernando Schlosser**, pela oportunidade, por acreditar no meu potencial, pela orientação, amizade, confiança e incentivo.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Agrotecnologia do NEMA (Núcleo de Ensaio de Máquinas Agrícolas) **Marcelo Silveira de Farias, Rodrigo Lampert Ribas, Fabrício Azevedo Rodrigues, Gustavo Heller Nietiedt, Ulisses Giacomini Frantz, André Luis Casali, Alexandre Russini, Pablo Gustavo Silva Ferrer, Juan Paulo Barbieri, Leticia Frizzo Ferigolo, Vinícius Paim Alende, Eduardo Jaehn, Helena Silva Oliveira, Leandro Correa Ebert**, pela convivência, amizade, conselhos, ajuda e por todo o suporte na realização deste trabalho, desde sua instalação, condução, até sua conclusão.

Ao **José Alan de Almeida Acosta** e toda a equipe da **Drakkar Solos**, parceira fundamental para a realização deste trabalho.

Ao **Cristiano Van Ass** e **Alexandre Van Ass**, que acreditaram no trabalho e disponibilizaram a área e toda a infraestrutura local necessária. Agradeço também a toda a equipe de **funcionários da fazenda Limburgia**, pertencente a **Sementes Van Ass**, em especial ao **João**, pela ajuda necessária para a instalação e condução dos experimentos.

À **Stara**, empresa parceira, que disponibilizou a semeadora utilizada para a realização dos experimentos.

À Prof. Dr^a. **Paula Machado dos Santos** e, ao Prof. Dr. **Marivan da Silva Pinho**, pela ajuda na análise dos resultados.

À todos os **professores e funcionários** do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

À todos os **amigos** que conviveram na, e/ou frequentaram a, “**chácara 55**” durante estes três anos de Doutorado.

À minha companheira **Franciele Aimi** e ao nosso filho **Gustavo Aimi Uhry**, pela compreensão, incentivo e apoio, principalmente nas etapas finais do trabalho e, por me darem força para prosseguir...

À todos que de alguma forma, colaboraram com este trabalho e, a todos que, direta ou indiretamente, fizeram e fazem parte dessa história.

A vocês, meu muito obrigado!

*“Não vos aconselho o trabalho, mas a luta.
Não vos aconselho a paz, mas a vitória!
Seja o vosso trabalho uma luta!
Seja vossa paz uma vitória!”*

(Friedrich Nietzsche)

RESUMO

Tese de doutorado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria

AVALIAÇÃO E CRITÉRIO PARA A UTILIZAÇÃO DE SEMEADORA COM SISTEMA DE TAXA VARIÁVEL DE SEMENTES NA CULTURA DA SOJA

AUTOR: DANIEL UHRY
ORIENTADOR: JOSÉ FERNANDO SCHLOSSER
Local e Data da Defesa: Santa Maria, 13 de setembro de 2013

A agricultura de precisão (AP) é uma atividade considerada recente e muitos estudos vêm sendo realizados nessa área. Novas tecnologias voltadas a AP são disponibilizadas num curto espaço de tempo, devendo ser melhor estudadas, com vistas a comprovar sua contribuição aos sistemas produtivos. Dentre as novas tecnologias, destacam-se as semeadoras-adubadoras com sistema de taxa variável de sementes e adubo. Nessas máquinas, o acionamento do mecanismo dosador é feito por um motor hidráulico acionado pela Tomada de Potência (TDP) ou pelo sistema hidráulico do trator. Pressupõe-se que diferentes formas de acionamento do sistema dosador em semeadoras possam ocasionar diferentes demandas de potência do trator, influenciar no desempenho do conjunto trator-semeadora e na distribuição longitudinal de sementes. Com isso, um dos objetivos do estudo foi avaliar o desempenho do conjunto trator-semeadora com sistema de taxa variável, em três diferentes velocidades de deslocamento. Outro objetivo visou determinar se o relevo pode ser usado como parâmetro para utilização de taxa variável de sementes na cultura da soja. Assim, foi analisado se a variação da densidade de semeadura em função do relevo pode melhorar a produtividade de grãos por área. Foram conduzidos dois experimentos na granja Limburgia, pertencente a Sementes Van Ass, no município de Palmeira das Missões, RS. Para o primeiro experimento, foi testado o desempenho do conjunto trator-semeadora em três velocidades de deslocamento, avaliando quanto ao patinamento, força de tração, consumo de combustível; estande inicial e final de plantas; distribuição longitudinal de sementes na linha; e produtividade de grãos. Como resultados observou-se que a variação na velocidade de operação não influenciou a demanda de força de tração, patinamento, consumo horário de combustível e produtividade de grãos, porém, influenciou a eficiência em tração, potência útil na barra, consumo específico de combustível, e distribuição longitudinal de plantas. No segundo experimento, foi avaliado o comportamento de duas cultivares de soja, em cinco densidades de semeadura e em três locais distintos do relevo (topo, encosta e baixada), em área irrigada por pivô central. As variáveis analisadas foram estande inicial de plantas; disponibilidade hídrica ao longo do ciclo; estande final de plantas; e produtividade de grãos. A produtividade de grãos diferiu estatisticamente entre os locais do relevo e entre as cultivares testadas. Analisando os dados desse experimento, conclui-se que o relevo pode ser usado como fator na tomada de decisão, referente ao uso de taxa variável de sementes, na semeadura da soja.

Palavras-chave: Velocidade de semeadura. Relevo. Agricultura de precisão.

ABSTRACT

Doctor Thesis
Agricultural Engineering Post Graduation Program
Universidade Federal de Santa Maria

EVALUATION AND CRITERIA FOR THE USE OF SOWING WITH SYSTEM OF VARIABLE RATE OF SEEDS IN THE SOYBEAN CULTURE

AUTHOR: DANIEL UHRY
ADVISOR: JOSÉ FERNANDO SCHLOSSER
Santa Maria/RS, September 13, 2013

Precision agriculture (PA) is an activity considered quite recent and many studies have been conducted in this area. New technologies towards AP were made available over a short time and should be better studied, in order to prove their contribution to production systems. Among the new technologies, planters with variable seed and fertilizer metering systems are being developed. On these machines, the driving of feeder mechanisms is done by a hydraulic motor powered by power take off (PTO) or by tractor's hydraulic system itself. It is assumed that different ways of driving the feeder system in seeders can cause different demands of tractor power, and influence the performance of the whole tractor-planter system and even longitudinal distribution of seeds. One of the goals of this study was to evaluate the performance of planter and tractor system, working three different speeds. Another goal was to determine whether terrain relief can be used as a parameter to use variable rate of seeds in soybean culture. An experiment varying sowing density on different terrain relief aiming improved grain productivity was designed. Two experiments were conducted at the farm Limburgia, belonging to Van Ass Seeds, in the municipality of Palmeira das Missões, Rio Grande do Sul. For the first experiment, the tractor planter system was tested in three speeds evaluating tractor slippage, tractive force and fuel consumption; initial and final plant stand as well as seed longitudinal distribution and grain productivity were evaluated. As a result it was found that the variation in operation speed did not influence the tractive force, tractor wheel slippage nor fuel consumption or soybean grain productivity. In the second experiment, the behavior of two soybean cultivars, in five planting densities at three locations (top, hillside and plains), was evaluated in irrigated area by center pivot. Initial stand of plants, soil water availability over the cycle, final stand of plants and productivity were evaluated. Grain productivity differed due to terrain position and according to the cultivars tested. Referring to this experiment the relief can be used as a factor in decision making, concerning the use of variable seed rate in soybean sowing.

Key Words: Seeding Speed. terrain Relief. Precision Agriculture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição de massa nos eixos dos tratores	35
Figura 2 – Sistema de forças envolvidas na condição dinâmica	35

CAPÍTULO 1

Figura 1 – Vista da área experimental gerada pelo software Google Earth	55
Figura 2 – Trator teste utilizado no experimento	56
Figura 3 – Semeadora Victória Top Control 5400 utilizada no experimento.....	58
Figura 4 – Pesagem do trator teste: a) peso total; b) peso do eixo dianteiro; c) peso do eixo traseiro	60
Figura 5 – Determinação da superfície de contato pneu com o solo: a) solo e pneu sendo marcados com cal branca para delimitação da área de contato; b) marcação do rodado dianteiro; c) medição das dimensões da elipse do rodado traseiro; d) medição das dimensões da elipse do rodado dianteiro	61
Figura 6 – Procedimento para verificação do raio dinâmico.....	63
Figura 7 – Trator teste instrumentado com sensores de roda, fluxômetro, GPS e central de armazenamento de dados (<i>datalogger</i>).....	64
Figura 8 – <i>Datalogger</i> para armazenamento dos dados adquiridos pelos sensores..	65
Figura 9 – Sistema de engate e célula de carga para medição da força de tração ..	66
Figura 10 – Detalhe da roda dentada e sensor do tipo indutivo	67
Figura 11 – Barra de luzes conectada ao receptor GPS	68
Figura 12 – Caixa de proteção e ligações do fluxômetro	69
Figura 13 – Resistência a penetração média referente a área experimental, para umidade média do solo de 19,5	73
Figura 14 – Peso dinâmico incidente no eixo dianteiro do trator teste em função da velocidade de deslocamento.....	77
Figura 15 – Peso dinâmico incidente no eixo traseiro do trator teste em função da velocidade de deslocamento.....	77
Figura 16 – Força de tração média em função da velocidade de deslocamento	78
Figura 17 – Potência na barra de tração em função das diferentes velocidades de deslocamento.....	79
Figura 18 – Patinação média dos rodados traseiros em diferentes velocidades de deslocamento.....	80
Figura 19 – Consumo horário de combustível em função das diferentes velocidades de deslocamento.....	81
Figura 20 – Consumo específico de combustível em função das diferentes velocidades de deslocamento.....	82

Figura 21 – Eficiência em tração em relação à resistência ao rolamento para as diferentes velocidades de deslocamento.....	83
Figura 22 – Eficiência em tração nas diferentes velocidades de deslocamento.....	84
Figura 23 – Coeficiente dinâmico de tração para as diferentes velocidades de deslocamento	85

CAPÍTULO 2

Figura 1 – Visão da área experimental, gerada pelo software Google Earth.....	95
Figura 2 – Mapa planialtimétrico da área experimental	96
Figura 3 – Semeadora Victória Top Control 5400 utilizada no experimento.....	97
Figura 4 – Umidade média do solo (em %) durante o ciclo da cultura, para as cultivares de soja BMX Ativa RR e Igra RA 626 RR, cultivadas em diferentes densidades de semeadura (mil plantas.h ⁻¹), na região de topo do terreno, em área irrigada pelo sistema de pivô central.....	102
Figura 5 – Umidade média do solo (em %) durante o ciclo da cultura, para as cultivares de soja BMX Ativa RR e Igra RA 626 RR, cultivadas em diferentes densidades de semeadura (mil plantas.h ⁻¹), na região da encosta do terreno, em área irrigada pelo sistema de pivô central.....	103
Figura 6 – Umidade média do solo (em %) durante o ciclo da cultura, para as cultivares de soja BMX Ativa RR e Igra RA 626 RR, cultivadas em diferentes densidades de semeadura (mil plantas.h ⁻¹), na região da encosta do terreno, em área irrigada pelo sistema de pivô central.....	104
Figura 7 – Produtividade média de grãos da cultivar de soja BMX Ativa RR em diferentes densidades de semeadura, na região de topo, em área irrigada.....	108
Figura 8 – Produtividade média de grãos da cultivar de soja BMX Ativa RR em diferentes densidades de semeadura, na região de encosta, em área irrigada.....	109
Figura 9 – Produtividade média de grãos da cultivar de soja BMX Ativa RR em diferentes densidades de semeadura, na região de baixada, em área irrigada.....	109
Figura 10 – Produtividade média de grãos da cultivar de soja Igra RA 626 RR, em diferentes densidades de semeadura, na região de topo, em área irrigada.....	110
Figura 11 – Produtividade média de grãos da cultivar de soja Igra RA 626 RR, em diferentes densidades de semeadura, na região da encosta, em área irrigada.....	110
Figura 12 – Produtividade média de grãos da cultivar de soja Igra RA 626 RR, em diferentes densidades de semeadura, na região da baixada, em área irrigada.....	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficientes de resistência ao rolamento e coeficiente dinâmico de tração para diferentes situações	43
--	----

CAPÍTULO 1

Tabela 1 – Escalonamento de marchas do trator teste MF 680	57
Tabela 2 – Peso do trator e distribuição por eixo	60
Tabela 3 – Área de contato dos pneus com o solo e pressão aplicada ao solo	74
Tabela 4 – Raio dinâmico e avanço cinemático do trator MF680 utilizado no experimento	75
Tabela 5 – Velocidade teórica (km.h ⁻¹) prevista no material técnico do trator testado e velocidade média registrada pelo receptor GPS AG 150 (Trimble)	76
Tabela 6 – Estande inicial de plantas (aos 15 dias após emergência) e estande final de plantas (no momento da colheita) por metro linear, para as três velocidades testadas	86
Tabela 7 – Distribuição longitudinal de plantas na linha, nas diferentes velocidades testadas	87
Tabela 8 – Produtividade de grãos em função da velocidade de semeadura	88

CAPÍTULO 2

Tabela 1 – Média da população inicial e final de plantas (plantas por metro linear), de duas cultivares de soja, em cinco densidade de semeadura	100
Tabela 2 – Média da população inicial e final de plantas (plantas por metro linear), em três locais do relevo (topo, encosta e baixada) e em cinco densidades de semeadura	101
Tabela 3 – Umidade média do solo (em %) durante o ciclo da cultura, para as cultivares de soja BMX Ativa RR e Igra RA 626 RR, cultivadas em três locais do relevo (topo, encosta e baixada)	105
Tabela 4 – Produtividade média (kg.ha ⁻¹) nos três locais do relevo	106
Tabela 5 – Produtividade média geral (kg.ha ⁻¹) das duas cultivares testadas	107

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	23
1 REVISÃO DE LITERATURA	27
1.1 Semeadoras	27
1.1.1 Semeadoras-adubadoras de plantio direto	28
1.1.2 Demanda de tração	30
1.1.3 Velocidade de deslocamento e distribuição longitudinal de sementes	32
1.2 Tratores	33
1.2.1 Dinâmica de tração para tratores agrícolas	34
1.2.1.1 Transferência de peso	34
1.2.1.2 Relação mecânica e de raios	38
1.2.1.3 Avanço cinemático	39
1.2.2 Tração	40
1.2.3 Potência na barra de tração	40
1.2.4 Aderência e patinamento	41
1.2.5 Resistência ao rolamento	42
1.2.6 Consumo de combustível	43
1.3 Agricultura de precisão	45
1.4 Relevô	46
1.5 A Soja	47
2 CAPÍTULO 1: AVALIAÇÃO DO CONJUNTO TRATOR SEMEADORA-ADUBADORA COM SISTEMA DE TAXA VARIÁVEL DE SEMENTES	51
2.1 Introdução	53
2.2 Material e Métodos	54
2.2.1 Caracterização do local do experimento	54
2.2.2 Trator teste	56
2.2.3 Semeadora utilizada no experimento	58
2.2.4 Determinações realizadas no trator teste	59
2.2.4.1 Pesagem do trator	59
2.2.4.2 Área de contato dos pneus	60
2.2.4.3 Determinação do raio dinâmico	62
2.2.5 Resistência ao rolamento	63
2.2.6 Instrumentação eletrônica de aquisição de dados	64
2.2.6.1 Processamento dos dados	65
2.2.6.2 Força de tração	66
2.2.6.3 Sensores das rodas motrizes	66
2.2.6.4 Velocidade real do trator	68
2.2.6.5 Patinamento das rodas motrizes	68
2.2.6.6 Consumo de combustível	69
2.2.7 Dados obtidos indiretamente	70
2.2.8 Procedimentos experimentais e estatísticos	71
2.2.9 Outras avaliações	71
2.3 Resultados e discussão	72
2.3.1 Resistência a penetração	72

2.3.2 Pressão aplicada ao solo	74
2.3.3 Avanço cinemático	75
2.3.4 Velocidade de deslocamento	75
2.3.5 Transferência de peso	76
2.3.6 Força de tração	78
2.3.7 Potência em tração	79
2.3.8 Patinação	80
2.3.9 Consumo de combustível	81
2.3.9.1 Consumo horário	81
2.3.9.2 Consumo específico	82
2.3.10 Eficiência em tração	83
2.3.10.1 Eficiência em relação à resistência ao rolamento	83
2.3.10.2 Eficiência em tração em função da velocidade de deslocamento	84
2.3.11 Coeficiente dinâmico de tração	85
2.3.12 Estande inicial e final de plantas	86
2.3.13 Distribuição longitudinal de plantas	86
2.3.14 Produtividade de grãos	87
2.4 Conclusões	88
3 CAPÍTULO 2: DENSIDADE DE SEMEADURA DE SOJA EM FUNÇÃO DO RELEVO	91
3.1 Introdução	93
3.2 Material e Métodos	94
3.2.1 Caracterização do local do experimento	95
3.2.2 Semeadora utilizada no experimento	96
3.2.3 Avaliações	98
3.2.3.1 Emergência e estande final de plantas	99
3.2.3.2 Umidade do solo	99
3.2.3.3 Produtividade	99
3.3 Resultados e discussão	100
3.3.1 Estande de plantas	100
3.3.2 Umidade do solo durante o ciclo da cultura	101
3.3.3 Produtividade de grãos	106
3.4 Conclusões	111
REFERÊNCIAS	113
APÊNDICES	125

INTRODUÇÃO

O surgimento do setor de máquinas e implementos agrícolas transformou totalmente o setor agrícola, sendo hoje, praticamente impossível se pensar em agricultura de larga escala sem sua utilização. O mundo atualmente passa por uma fase em que inovações tecnológicas são lançadas de forma muito rápida, não sendo diferente no setor de máquinas agrícolas. Culturas de grande importância econômica a nível mundial, como a soja, recebem máquinas cada vez mais complexas e com maior tecnologia embarcada, que devem sempre ser estudadas quanto a sua eficiência.

A soja é a principal *commodity* do país, com a produção nacional situada ao redor de 81,5 milhões de toneladas. Foi a partir da década de 1960, impulsionada pela política de subsídios ao trigo, onde era necessária uma cultura de verão para sucessão, que a soja se estabeleceu como cultura economicamente importante para o Brasil. Desde então, ocorreu um aumento considerável de área semeada com esta cultura, passando de 1,3 milhões de hectares, na década de 1970, para uma área de aproximadamente 28 milhões de hectares na safra 2012/13, ano em que obteve uma produção recorde de 84,4 milhões de toneladas. Atualmente, a área de cultivo de soja corresponde a 49% da área cultivada com grãos no Brasil (CONAB, 2012). O grão é componente essencial na fabricação de ração animal e com uso crescente na alimentação humana, além de ser uma alternativa já amplamente explorada na fabricação de biodiesel.

A atividade agrícola tornou-se, através dos anos, uma importante atividade empresarial caracterizada pelo uso de agroquímicos, insumos, irrigação, entre outros, que visa à obtenção de altas produtividades por unidade de área. O emprego intensivo de técnicas e tecnologias requer um gerenciamento cada vez mais sofisticado do sistema de produção. Essa agricultura que se aperfeiçoa a cada dia, está inserida em um contexto de economia globalizada e, como nas mais diversas atividades, é imprescindível a otimização dos recursos disponíveis para se manter no mercado de forma competitiva.

Dentro desse contexto, a agricultura de precisão aparece como uma ferramenta de gerenciamento de informações que visa auxiliar a tomada de

decisões. Considera, para isso, as variabilidades existentes na área com o intuito de racionalizar o uso de insumos, diminuindo custos e melhorando a produtividade.

Há algum tempo busca-se considerar a variabilidade existente dentro de unidades de cultivo, objetivando minimizar as variações através do gerenciamento localizado. Porém, foi apenas nas últimas décadas que isso se tornou possível em maior escala, devido, principalmente, aos avanços tecnológicos nos sistemas de georreferenciamento. Isto possibilitou o estudo da variabilidade espacial das propriedades do solo e a geração de mapas de produtividade georreferenciados. A geração desses mapas trás muitas informações importantes sobre a área de cultivo, sendo que, um grande desafio da agricultura de precisão, é o gerenciamento dessas informações e sua utilização nas tomadas de decisões. Portanto, se faz necessário pesquisar as diferentes tecnologias que surgem visando à utilização dessas informações.

A agricultura de precisão, em maior escala, é uma atividade considerada recente e muitos estudos vêm sendo realizados nessa área. Por ser recente e devido aos avanços tecnológicos que ocorrem de forma muito rápida, novas tecnologias são disponibilizadas num curto espaço de tempo, devendo ser melhor estudadas, visando comprovar sua contribuição aos sistemas produtivos.

Atualmente, encontram-se máquinas semeadoras com a capacidade de aplicação de taxas variáveis, tanto de adubo quanto de sementes, de acordo com taxas pré-fixadas ou mapas pré-definidos georreferenciados. Essa nova ferramenta tecnológica precisa ser estudada com relação ao desempenho da máquina em conjunto com o trator agrícola, bem como critérios para auxiliar na tomada de decisão para a utilização desse conjunto.

Muito já se estudou a respeito de densidade de semeadura em soja e sabe-se que a utilização de população de plantas adequada a cada condição melhora significativamente a produtividade das lavouras. Porém, poucos estudos foram realizados até o momento avaliando a adequação da densidade de semeadura de soja em função do relevo, principalmente nas condições de relevo das regiões Norte e Noroeste do Rio Grande do Sul.

O presente trabalho buscou, estudar o comportamento de uma semeadora-adubadora, dotada de mecanismos de aplicação a taxas variáveis de sementes e de adubo, em conjunto com um trator agrícola (Capítulo 1). Determinar se o relevo pode

ser utilizado como critério para o uso de taxas variadas de sementes, na cultura da soja (Capítulo 2).

Os objetivos específicos do primeiro capítulo são:

- Realizar a operação de semeadura em três diferentes marchas (proporcionando diferentes velocidades); avaliando a força de tração necessária para tracionar a semeadora-adubadora, potência útil na barra de tração, o consumo de combustível e a patinamento das rodas motrizes do trator;

- Avaliar se a variação na velocidade de operação influencia a distribuição longitudinal de sementes, estande inicial e final de plantas e produtividade de grãos.

Já para o segundo capítulo, os objetivos específicos são:

- Determinar se a variável relevo possui influência no potencial produtivo na cultura da soja;

- Quantificar a variável produtividade de grãos em diferentes densidades de semeadura, observando a possível influência do relevo;

- Avaliar se o relevo pode ser utilizado como parâmetro na tomada de decisão para o uso de taxa variada de sementes, na semeadura de soja.

1 REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Semeadoras

A história das semeadoras acompanha o desenvolvimento da agricultura. Os primeiros relatos do cultivo da terra remontam a 8.000 a.C. na Mesopotâmia, quando o homem se dispôs a semear a primeira semente com o objetivo de colher seus frutos. A partir desse ponto, o homem começa a desenvolver e utilizar ferramentas rudimentares para auxiliar no trabalho da terra, inicialmente utilizando a sua própria força e, posteriormente a força animal. Assim, a agricultura começou a ser desenvolvida, aumentando em escala e tecnologia, à medida que aumentava também a necessidade de alimentos para o próprio homem e para os animais domésticos (PEREIRA, 2008).

O mesmo autor cita ainda que, atualmente, a importância da máquina agrícola para a produção de alimentos no mundo é indiscutível, tendo em vista a crescente demanda por alimentos para consumo, tanto pelas pessoas, quanto para a produção de proteína animal.

Segundo Balastreire (2005), a primeira semeadora europeia foi desenvolvida por Joseph Locatelli de Corinto, em 1636. Tratava-se de uma máquina que se constituía, basicamente, de um depósito de madeira no qual se colocavam as sementes e de um eixo rotativo com conchas que jogavam as sementes em tubos que as conduziam, depositando-as em fileiras sobre o solo. As semeadoras como conhecemos hoje, começaram a ser desenvolvidas em 1785, sendo projetadas por James Cook, servindo de base para as atuais.

O projeto de norma 12.02.06 – 004 ABNT (1989), define semeadora como sendo uma máquina agrícola que é responsável pela semeadura de sementes com distribuição predeterminada. O mesmo autor classifica como semeadoras de arrasto, as que são acopladas a um ponto na barra de tração. Semeadoras-adubadoras realizam operações de semeadura e adubação associadas e possuem distribuições de adubo e semente independentes e pré-estabelecidas.

1.1.1 Semeadoras-adubadoras de plantio direto

Dada a importância do agronegócio para a economia do País, muitas tecnologias são desenvolvidas e incorporadas nos sistemas de produção. Dentre estas tecnologias, uma bastante conhecida e difundida é o chamado sistema de plantio direto. O sistema de semeadura direta (popularmente conhecido como plantio direto) consiste na técnica de implantar uma cultura em solo não preparado previamente, diferenciando-se dos outros processos de semeadura pela menor intensidade de mobilização do solo e pela cobertura do solo com restos vegetais das culturas anteriores. Aliado a isso, existe a necessidade da rotação de culturas, que é uma prática simples, empregada desde a antiguidade, trazendo grandes benefícios para o agricultor. O sistema de semeadura direta e a rotação de culturas promovem, juntos, inúmeras vantagens, dentre as quais se podem destacar: menor necessidade de água de chuvas para iniciar a semeadura, economia de combustível, aumento da atividade biológica do solo em função do aumento do teor de matéria orgânica e menor perda de solo por erosão (BRANQUINHO et al., 2004).

As primeiras semeadoras-adubadoras para semeadura direta chegaram ao Brasil no início dos anos 1970, importadas de países europeus (COELHO, 1998). Para Possebon (2011), o processo de semear e adubar tem por objetivo dosar e depositar no solo, certa quantidade de sementes e fertilizantes, proporcionando à cultura implantada ótimas condições de desenvolvimento e produção.

A semeadora-adubadora em linha é uma máquina agrícola dotada de mecanismos responsáveis pela abertura de sulcos, dosagem e distribuição de sementes e fertilizantes no solo e, mecanismos responsáveis pelo fechamento dos mesmos. As sementes e os fertilizantes são colocados no solo, em linhas cuja separação e posicionamento variam de cultura para cultura, devendo ser o suficiente para permitirem o pleno desenvolvimento produtivo das plantas. No entanto, para que isso ocorra, alguns critérios devem ser atendidos, como: a densidade de semeadura adequada, o espaçamento entre linhas, a profundidade de deposição das sementes, a velocidade de deslocamento, assim como a quantidade e a localização de deposição dos insumos, o qual é conseguido com uma boa regulação dessas máquinas semeadoras (POSSEBON, 2011, SILVA; KLUTHCOUSKI; SILVEIRA, 2000).

Com relação à deposição das sementes, este tipo de máquina pode ser de precisão ou de fluxo contínuo, sendo esta característica definida pelo tipo de mecanismo dosador de sementes (SANTOS FILHO; SANTOS, 2001). Segundo os autores, o mecanismo dosador de sementes é o responsável por dosar a quantidade de sementes que serão distribuídas, levando-as do interior do depósito até o tubo de distribuição. Tais mecanismos devem ser capazes de permitir a obtenção da densidade de sementes que se deseje depositar no solo, causando a elas, o mínimo possível de danos. Os tipos mais utilizados atualmente são: disco perfurado, rotor acanalado, dedo prensor, copo distribuidor e dosador pneumático (SILVA; KLUTHCOUSKI; SILVEIRA, 2000).

Os dosadores de precisão mecânicos têm, geralmente, a forma de discos alveolados e são dispostos na parte inferior de um reservatório; ao girarem, captam e transportam as sementes até a abertura de saída, onde são liberadas e direcionadas até o solo. Já os dosadores de precisão pneumáticos são constituídos de discos perfurados, nos quais atuam os efeitos de pressurização ou sucção de ar. Desta forma, as sementes são captadas pelo diferencial de pressão criado e transportadas até uma abertura de saída, onde o diferencial de pressão é eliminado e as sementes são liberadas até o solo (SANTOS FILHO; SANTOS, 2001). Segundo Balastreire (1987), dosadores pneumáticos têm como principais vantagens a precisão na dosagem de sementes, uma a uma, e a ausência de danos provocados nas sementes durante o processo de dosagem.

Os danos mecânicos provocados nas sementes pelo mecanismo dosador podem afetar o estande de plantas das culturas, entre elas a soja. As sementes de soja possuem um tegumento pouco espesso para proteger as partes vitais do eixo embrionário (radícula, hipocótilo e plúmula), oferecendo pouca proteção (FRANÇA NETO; HENNING, 1984). De acordo com Carbonell (1991), a susceptibilidade do tegumento da semente ao dano mecânico está intimamente relacionada com a variabilidade. Não apenas os danos grandes e visíveis, mas também danos menores, mesmo que invisíveis a olho nu, dependendo da sua localização, podem reduzir significativamente a qualidade das sementes (FLOR et al., 2004). Um dano mecânico pode tanto ocasionar a morte da semente (no caso de um impacto muito forte), como provocar-lhe rachaduras na casca, facilitando o acesso de micro-organismos patogênicos ao seu interior (SILVEIRA, 1989). De acordo com Balastreire (1987), é comum se obter, nos dosadores puramente mecânicos, um

percentual de sementes quebradas de até 7%. Assim, o autor sugere a utilização de dosadores do tipo pneumático a vácuo para as sementes frágeis, em função de sua capacidade de dosá-las uma a uma, causando-lhes menos danos.

No processo de semeadura, além do mecanismo dosador, diversos fatores interferem no estabelecimento do estande de plantas e, com frequência, na produtividade da cultura, destacando-se entre eles a velocidade de operação da máquina no campo, profundidade de deposição de adubo e sementes no solo, entre outros (SILVA; KLUTHCOUSKI; SILVEIRA, 2000).

Para alcançar uma boa produtividade devem-se realizar as operações em condições ideais de umidade do solo, distribuição de uniforme de sementes e profundidade desejada. Por isso, a semeadura é uma operação que define o potencial produtivo dos grãos (KLEIN, 2003). Estudos realizados por Tourino (1993), mostraram que a distribuição espacial das plantas pode determinar perdas na produtividade de 15% ou mais na cultura de milho, 35% ou mais na de girassol e 10% ou mais na de soja.

Para se obter, portanto, sucesso no processo de semeadura, a velocidade de deslocamento tem papel crucial. A principal questão está relacionada à demanda de trabalho por ocasião do plantio de grandes culturas, nas quais o período recomendado para execução da atividade é restrito e determinado, principalmente, pelas condições ambientais (DIAS et al., 2009). A utilização de velocidades mais baixas é inviabilizada pela necessidade de se aumentar a capacidade operacional. Achar o ponto de equilíbrio, aliando qualidade na semeadura com capacidade operacional, é o desafio a ser vencido.

1.1.2 Demanda de tração

Pelos altos custos na produção de grãos e pelas adversidades climáticas, torna-se necessário executar as operações com boa eficiência, exigindo equipamentos com maior largura (proporcionando maior capacidade operacional) e, conseqüentemente, aumentando a demanda de força de tração, o que não é diferente nas operações de semeadura (Frantz, 2011).

Neto et al. (2004), observaram que a operação de semeadura em área de plantio direto, em três velocidades de deslocamento (5,6; 8,3 e 10,8 km.h⁻¹) e três coberturas de solo, requereu força de tração foi maior para a velocidade de 10,8 km.h⁻¹.

A força de tração na barra, requerida por linha de semeadura, está na faixa de 1,1 a 2,0 kN (ASAE, 1996). Silva (2000), avaliando o desempenho de uma semeadora com mecanismos sulcadores para adubo e sementes do tipo discos duplos defasados e com mecanismo dosador de sementes tipo disco horizontal perfurado, com 28 furos, nas velocidades de deslocamento de 3; 6; 9 e 11,2 km h⁻¹, constatou que, na semeadura direta de soja (quatro linhas), os maiores valores de força de tração ocorreram na maior velocidade. Na média do ensaio, o autor encontrou 1,65 kN de exigência de força de tração na barra por linha.

Bortolotto et al. (2006), em experimentos comparando velocidades de 4,7 a 7,2 km.h⁻¹ em semeadura de soja, com uma semeadora de 9 linhas, observou que a demanda de força de tração total e a demanda de força de tração por linha, foram maiores nas velocidades mais altas.

Modolo et al. (2004), estudando semeadora de milho, em duas velocidades de deslocamento (5,2 e 8,4 km.h⁻¹) e de maneira similar aos trabalhos descritos no parágrafo anterior, concluíram que o incremento na velocidade de deslocamento aumentou a potência média na barra. Entretanto, a variação da velocidade de deslocamento não influenciou os parâmetros: força de tração média na barra, profundidade de semeadura e uniformidade de distribuição de sementes (avaliado pelas médias das distâncias entre sementes).

Em trabalho realizado no Rio Grande do sul, Santos (2010), observou que o aumento da velocidade de deslocamento dentro dos limites testados causou um efeito linear crescente sobre a demanda energética. O aumento da velocidade de deslocamento de 3,5 para 6,5 km.h⁻¹ proporcionou um aumento de 37% da força de tração requerida na barra de tração, o que pode interferir na capacidade de campo efetiva da semeadura.

1.1.3 Velocidade de deslocamento e distribuição longitudinal de sementes

O aumento da velocidade de deslocamento da máquina (relacionado diretamente à velocidade periférica do disco dosador) faz com que diminua a porcentagem de espaçamentos considerados aceitáveis entre duas sementes consecutivas (KEPNER et al., 1982; FURLANI et al., 1999; MAHL et al., 2004). Além da distribuição longitudinal de sementes, Machado et al. (2005) consideraram que podem ocorrer falhas de deposição, profundidade e acondicionamento das sementes no solo em função do aumento da velocidade.

Kepner et al. (1982), verificaram que não é apenas a velocidade de deslocamento que influencia na distribuição longitudinal, outros fatores como a dimensão e a forma das sementes e do orifício do disco, também influenciam na distribuição espacial.

Outro ponto relacionado à velocidade de deslocamento, e que influencia na distribuição de sementes, é o deslizamento da roda motriz que aciona o mecanismo dosador de sementes. Nas operações de campo, em função das exigências estabelecidas pelo mecanismo de transmissão de movimento na semeadora, tanto para distribuição das sementes, quanto para a distribuição do adubo, pode ocorrer o deslizamento da roda motriz junto ao solo, em função de não haver pressão de contato suficiente, ocasionando falhas na transmissão de movimento para os mecanismos de distribuição. Com a máquina se deslocando no terreno, parte do movimento que deveria ser transmitido para a roda motriz não se efetiva, afetando o espaçamento esperado entre as sementes (MATTAR, 2010).

Estudando o desempenho de uma semeadora-adubadora, operando em velocidades de 5,2 e 7,3 km.h⁻¹ sobre a palhada da cultura do milho, Branquinho et al. (2004), verificaram que a velocidade de deslocamento do conjunto trator semeadora-adubadora não influenciou no número médio de dias para a emergência das plântulas, na distribuição longitudinal de sementes e na produtividade da soja.

Em outro trabalho, Furlani et al. (2006), observaram que velocidades mais baixas diminuem a ocorrência de deslizamento da roda motriz. Além da qualidade na distribuição de sementes, alterações na velocidade de semeadura também influenciam na força de tração necessária para o funcionamento do sistema. A elevação na velocidade de semeadura aumentou a demanda de tração. Os autores

estudaram as velocidades de 4,6; 6,2 e 8,1 km.h⁻¹ e percentual de carga de fertilizante no reservatório de uma semeadora e concluíram que a maior potência exigida no motor foi observada na maior carga e velocidade.

1.2 Tratores

Desde quando o homem começou a trabalhar a terra com arado, há mais de 3000 anos, precisou se apropriar de fontes de energia (que não a sua) para a realização de atividades agrícolas. Assim, animais domesticados passaram a ser utilizados com o intuito de conseguir energia para diversas atividades (MÁRQUEZ, 2012).

Com o passar do tempo, com a demanda crescente de alimentos e o desenvolvimento tecnológico, os animais passaram a ser substituídos por fontes de energia mecânica. Inicialmente, as primeiras máquinas eram à vapor (combustão externa). O maior problema dessas máquinas era o seu grande peso que dificultava a sua autopropulsão e quantidade de pessoas necessárias para manejar o veículo. O desenvolvimento de motores de combustão interna ocorreu em 1876 com o motor ciclo Otto e, posteriormente, em 1892 com o motor ciclo Diesel (que proporcionou maior torque a baixas rotações), completando assim essa evolução em termos de combustível. Posteriormente, os tratores foram aperfeiçoados para atender a muitos outros fins, como por exemplo, através da tomada de potência (TDP) e os controles hidráulicos. As rodas, que eram inicialmente de madeira e depois de ferro, foram trocadas por rodas com pneus, que aumentam a flexibilidade dos tratores (BIANCHINI, 2002).

De acordo com a definição da AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - ASAE (1995), o trator agrícola é uma máquina de tração projetada e inicialmente recomendada para proporcionar potência aos implementos agrícolas. Já para a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE (2007), os tratores agrícolas são veículos autopropelidos de rodas, com pelo menos dois eixos ou com esteiras, desenhados principalmente para cumprir o propósito de tracionar reboques, implementos e ferramentas e máquinas agrícolas e,

quando necessário, proporcionar a potência necessária para que estes trabalhem parados ou em movimento.

Na agricultura atual, o trator é sem dúvida, a maneira mais utilizada para desenvolver tração. Segundo Schlosser (1996), o motor do trator agrícola transforma parte da energia proveniente da queima do combustível em trabalho mecânico. O torque produzido pelo motor é transferido às rodas através da caixa de marchas, diferencial e redução final. Para conseguir tracionar e desenvolver potência na barra de tração, o trator necessita de aderência sobre a superfície de trabalho. Aderência é uma variável que depende da carga total que é a parte do peso que está sobre o eixo ou os eixos motores, como também da natureza e condição da zona de contato roda-solo (GEE-CLOUGH et al., 1977).

1.2.1 Dinâmica de tração para tratores agrícolas

1.2.1.1 Transferência de peso

O peso estático de um trator caracteriza-se pela força total normal ao plano da superfície exercida sobre o elemento de tração ou transporte em posição estacionária sobre um solo horizontal e com tração líquida zero ou torque nulo. Já o peso dinâmico do trator é a força total normal ao plano da superfície exercida sobre o elemento de tração ou transporte nas condições de trabalho (SCHLOSSER, 1997).

Os tratores possuem certa distribuição de carga em condições estáticas, que depende de sua configuração, seja ele 4x4, 4x2 TDA ou 4x2 (Figura 1). Quando em movimento (condições dinâmicas), principalmente tracionando implementos que possuem grande demanda de potência na barra, como operações de mobilização do solo, parte do peso do eixo dianteiro se transfere para o eixo traseiro. Esse efeito é conhecido como transferência de peso e pode provocar instabilidade do eixo dianteiro, como ineficiência do controle de direção e tração (GARCIA 2013).

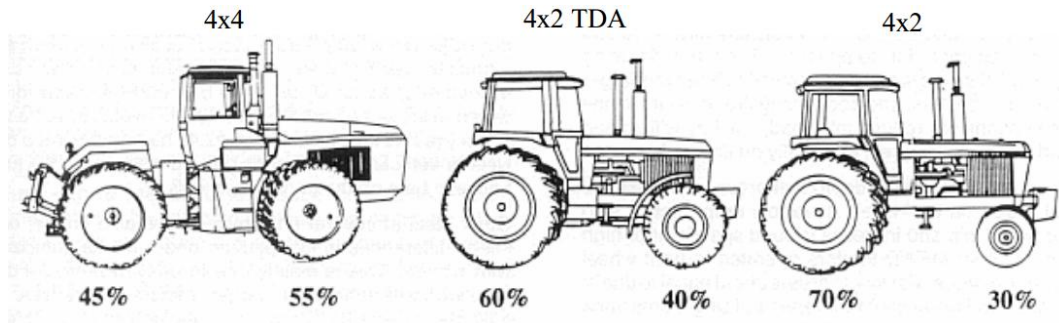


Figura 1 – Distribuição de massa nos eixos dos tratores.

Fonte: Adaptado de Garcia (2013)

Com relação ao peso dinâmico, Linares et al.(2006), relata que o comportamento do peso dinâmico sobre os eixos se modifica continuamente em função das condições de trabalho, e caracteriza a transferência de peso, como sendo a diminuição do peso de um eixo, aumentando no outro.

De acordo com os mesmos autores, o cálculo da distribuição de peso pode ser efetuado por meio de equações de equilíbrio das forças e dos momentos. Esses componentes de força e momentos da condição dinâmica de um trator exercendo tração na barra podem ser visualizados na Figura 2.

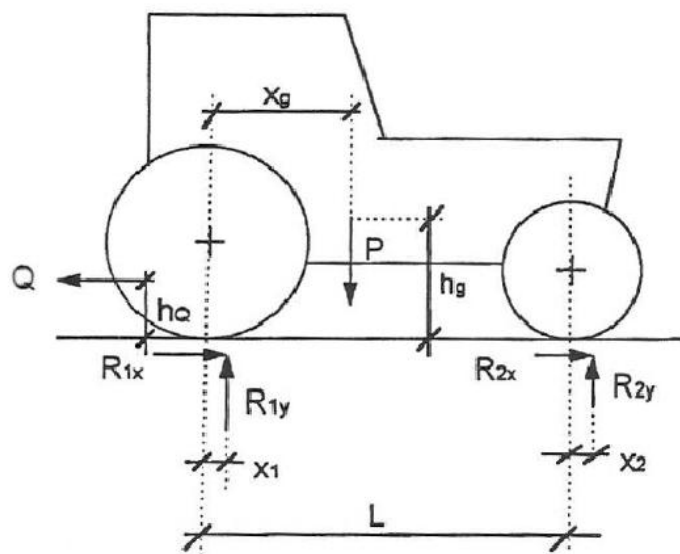


Figura 2 – Sistema de forças envolvidas na condição dinâmica

Fonte: Linares (1996)

A dinâmica do sistema de forças de um trator durante a realização de uma força de tração pode ser demonstrado através de equações. Conforme Linares (1996), as equações para o calculo da transferência de peso entre os eixos na condição dinâmica em tração são:

$$F=0 \quad \begin{aligned} P &= R_{1y} + R_{2y} \\ Q &= R_{1x} + R_{2x} \end{aligned}$$

Equilíbrio de forças (1)

$$M_0=0$$

$$P \cdot X_g - R_{1y} \cdot X_1 - R_{2y} \cdot L + X_2 - Q \cdot h_Q = 0$$

Equilíbrio de momentos (2)

$$\begin{aligned} R_{2y} &= \frac{P \cdot X_g}{L} - \frac{M_K}{L} - \frac{Q \cdot h_Q}{L} \\ R_{1x} &= \frac{P \cdot L - X_G}{L} + \frac{M_K}{L} + \frac{Q \cdot h_Q}{L} \end{aligned}$$

Reação das forças verticais (3)

$$M_K = R_{1y} \cdot X_1 + R_{2y} \cdot X_2$$

Resistência ao rolamento (4)

Em que:

P - é o peso do trator

Q - é a força horizontal de tração

L - é a distância entre eixos

R1x e Rx2 - são as reações horizontais do solo

R1y e R2y - são as reações verticais do solo

hg - é a altura do centro de gravidade

Xg - é a abscissa do centro de gravidade

hQ - é a altura do ponto de engate

Mk - é a resistência ao rolamento

ΣF - é a resultante das forças

ΣMo - é a resultante dos momentos

A transferência de peso do eixo dianteiro para o traseiro provém do esforço de tração realizado e da resistência ao rolamento que o solo realiza contra ao avanço das rodas (MÁRQUEZ, 2010). Portanto, o peso de lastro interfere de forma significativa no desempenho do trator. Cataneo et al. (1992), analisou o efeito do lastro na força de tração máxima em um grupo de tratores em pista de concreto, tendo como resultado, que o aumento de lastro provoca um aumento também na força de tração, ao mesmo tempo que diminui o coeficiente dinâmico de tração, exceto para tratores com tração dianteira auxiliar. De acordo com Witney (1988), coeficiente de tração (CT) pode ser definido pela razão entre a força de tração desenvolvida na barra (Ft) e a carga dinâmica (Wd) aplicada verticalmente sobre o rodado.

Para determinar a velocidade de trabalho ideal, ou seja, a velocidade mínima de deslocamento (velocidade crítica) para que o trator consiga utilizar toda a sua potência, Márquez (1980), relata que, para tratores com tração dianteira auxiliar, deve se utilizar 75% da potência nominal, porém com 100% do peso aderente. Assim, tem-se as equações (Equação 5 e 6):

$$P_{\text{máx}} = \frac{Nm \cdot 0,75 \cdot nt \cdot 270}{Vt \cdot ca \cdot 1,0}$$

Peso máximo (5)

$$V_c = \frac{Nm \cdot nt \cdot 270}{Pv \cdot ca \cdot 1,0}$$

Velocidade crítica (6)

Onde:

P_{max} - peso máximo do trator (kgf)

N_m - potência do motor (CV)

n_t - rendimento da transmissão

c_a - coeficiente de aderência

P_v - peso do trator vazio (kgf).

V_t - velocidade de deslocamento

1.2.1.2 Relação mecânica e de raios

Linares et al. (2006) descrevem que a relação entre velocidades angulares dos eixos dianteiro e traseiro, é representada pela equação 7:

$$RM = \frac{w_1}{w_2} \quad (7)$$

Onde:

w₁ - é a velocidade angular do eixo traseiro e;

w₂ - é a velocidade angular do eixo dianteiro.

Os mesmos autores descrevem que a relação de raios é a relação entre os raios das rodas traseiras e dianteiras, descrita na equação seguinte:

$$RR = \frac{r_1}{r_2} \quad (8)$$

Onde:

r₁ - é o raio das rodas traseiras e;

r₂ - é o raio das rodas dianteiras.

1.2.1.3 Avanço cinemático

A transmissão da potência, desde o motor do trator até os eixos, ocorre por meio de um acoplamento rígido. Assim, haverá obrigatoriamente uma relação invariável entre as velocidades angulares dos eixos. De acordo com Linares et al. (2006) o avanço é o quociente da velocidade de avanço da roda dianteira em relação à traseira, a qual depende da relação mecânica e dos raios das rodas.

De acordo com Ferreira (1999), avanço cinemático é uma relação constante entre as velocidades angulares dos eixos. As velocidades podem ser teóricas ou reais dependendo dos raios utilizados, e segundo Linares et al. (2006), podem ser calculados através da equação a seguir:

$$a = \frac{vt_2}{vt_1} = \frac{w_2 \cdot r_2}{w_1 \cdot r_1} = \frac{RM}{RR} \quad (9)$$

Onde:

a - é o avanço cinemático;

vt1 - é a velocidade teórica das rodas traseiras;

vt2 - é a velocidade teórica das rodas dianteiras.

Obs: Não se aplica aos raios sem carga por tratar-se de uma condição estática em que $w_2=w_1=0$

Os mesmos autores afirmam que os valores normais do avanço variam entre 1,01 e 1,05, e que estes valores são, normalmente, representados em porcentagem, sendo representados pela letra "A" (equação 10).

$$A = 100 \cdot a - 1 \quad (10)$$

1.2.2 Tração

A tração é uma força proveniente da interação existente entre um dispositivo de autopropulsão, tal como a roda e o meio no qual age este dispositivo (MIALHE, 1980). Segundo Knob (2010), tração é a força que as rodas efetivamente transmitem ao solo para que o veículo possa se movimentar. Segundo Márquez (2010), o torque produzido pelo motor é transferido às rodas através da caixa de marchas, diferencial e redução final. Através desse sistema de transmissão, a diminuição da velocidade que sucessivamente realizam os elementos que a compõem, proporciona um aumento no torque nas rodas. O torque produzido no motor é multiplicado pela relação de transmissão de acordo com a relação de câmbio selecionada (marcha), associada às perdas de potência produzidas pela transmissão. Essas perdas ocorrem devido a fricções e outras causas que em todas as transmissões se produzem, e podem variar entre 7 e 13%.

Segundo ASAE D497.4 (2003), o desempenho na barra de tração de um trator depende da potência do motor, da distribuição de peso sobre os rodados, da altura da posição dos engates da barra e da superfície do solo.

A tração deverá ser suficiente para vencer a resistência oferecida à movimentação do próprio trator (resistência ao rolamento, componente do peso próprio e declividade do terreno), bem como, deslocar a carga imposta à barra de tração nas velocidades requeridas para o trabalho (MIALHE, 1980).

1.2.3 Potência na barra de tração

O trabalho de tração é o produto da força horizontal pela distância ao longo da qual se movimenta o conjunto (SCHLOSSER, 1996). A determinação da potência de tração pode ser realizada por meio da medição do esforço de tração, através de instrumentações eletrônicas de aquisição em tempo real de dados como esforço de tração, patinamento, velocidade de avanço, etc (FRANTZ, 2011).

Segundo Márquez (1980), o balanço de potência em tração pode ser representado de acordo com a equação:

$$N_m = N_t + N_k + N^s + N_{BT} \quad (11)$$

Onde:

N_m - é a potência no motor;

N_t - é a potência perdida no sistema de transmissão;

N_k - é a potência perdida por resistência ao rolamento;

N^s - é a potência perdida por patinamento das rodas motrizes e;

N_{BT} - é a potência que está disponível na barra de tração.

De acordo com ASAE S296.5 (2003) a potência na barra de tração pode ser determinada através da força na barra e da velocidade de avanço, de acordo com a equação (12):

$$P_{bt} = \frac{F_t \cdot V_r}{3,6} \quad (12)$$

Onde:

P_{bt} - potência na barra de tração (kW)

F_t - força de tração na barra (kN)

V_r - velocidade real de deslocamento ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)

1.2.4 Aderência e patinamento

Segundo a ASAE (2003), patinamento é a redução de deslocamento dos dispositivos de tração em relação a uma determinada condição sem tração. Durante uma operação agrícola, o patinamento pode ser visualizado pelo movimento giratório das rodas motrizes do trator, com pequeno ou nenhum avanço das mesmas, o que acontece devido à falta de aderência das rodas ao solo (CORRÊA et al. 1999).

De acordo com Márquez (1990), o solo é o ponto de apoio da força tangencial que o torque na roda produz na banda de rodagem dos pneus e, se este ponto de

apoio suporta a carga sem romper-se, o trator avançará. Caso contrário, o patinamento fará com que o avanço do trator seja cada vez menor chegando a parar seu movimento real de avanço e as rodas seguirem girando a uma determinada velocidade angular a ponto de romper a camada superficial do solo e penetrá-lo.

Para determinar o patinamento instantâneo do veículo, deve-se conhecer a velocidade real de deslocamento sobre o solo, e conhecer e correlacionar com a velocidade angular das rodas (KNOB, 2010).

O patinamento das rodas motrizes pode ser determinado por meio da equação 13, descrita por Linares et al. (2006):

$$\delta = \frac{V_t - V_r}{V_t} \quad (13)$$

Onde:

δ - é o patinamento (%);

V_t - é a velocidade teórica do eixo dianteiro/traseiro (km.h^{-1});

V_r - é a velocidade real do eixo dianteiro/traseiro (km.h^{-1}).

1.2.5 Resistência ao rolamento

A resistência ao rolamento é a resistência que o solo opõe ao rolamento dos rodados em função do peso do trator e é devida a três fatores principais: deformação da roda e do solo, efeito de sucção causado pela separação da área de contato da roda com a superfície de rolamento e o patinamento (MÁRQUEZ, 1990). O mesmo autor afirma que, quanto menor for o peso do trator, menos se perderá por resistência ao rolamento (o que é aconselhável em trabalhos que exigem menores forças de tração). Ao contrário, em trabalhos que exigem grandes forças de tração, a diminuição do peso do trator faz aumentar o patinamento das rodas. Segundo o mesmo autor, resistência ao rolamento é expressa pela equação (14):

$$R_{Tk} = P \cdot k$$

(14)

Onde:

R_{Tk} - é a resistência ao rolamento expresso em kg ou N;

P - é o peso do trator em kg ou N e;

k - é o coeficiente de resistência ao rolamento.

Alguns valores de coeficiente de resistência ao rolamento podem ser encontrados na tabela abaixo (Tabela 1).

Tabela 1 – Coeficientes de resistência ao rolamento e coeficiente dinâmico de tração para diferentes situações

Solo	Coeficiente de resistência ao rolamento	Coeficiente de tração
Pista de concreto	0,02	1 – 0,85
Estrada de terra	0,05	0,8
Solo seco	0,07	0,6
Solo úmido	0,1	0,5
Solo siltoso úmido	0,2	0,2

Fonte: Adaptado de Linares (2006)

1.2.6 Consumo de combustível

A fonte de energia dos tratores para se locomover, tracionar implementos e máquinas agrícolas, é o combustível. É a partir da combustão que é desencadeado todo o processo de conversão da energia química do combustível, em energia mecânica utilizada para o trabalho.

De acordo com Silva (1992), a medida do consumo de combustível pode ser utilizada como um indicativo da demanda energética de uma operação agrícola; porém os valores obtidos podem ser influenciados por diversos fatores, como, condições do solo, demanda de potência, velocidade de trabalho, dimensões e formato da área a ser trabalhada, habilidade do operador, potência do trator e patinamento das rodas (SILVA, 1992).

Segundo Mialhe (1996), o combustível consumido pelo motor pode ser quantificado de duas maneiras, em relação ao tempo (consumo horário, expresso em $L.h^{-1}$, $kg.h^{-1}$, entre outros), ou em relação ao trabalho mecânico desenvolvido (consumo específico, expresso em $g.kW^{-1}.h^{-1}$, entre outros).

Para o cálculo do consumo específico de combustível, é necessário conhecer o consumo horário e a potência do motor, podendo ser calculado através da equação descrita por Mialhe (1996):

$$C_e = \frac{C_h \cdot 1000}{P} \quad (15)$$

Onde:

C_e - é o consumo específico em $g.kW^{-1}.h^{-1}$;

C_h - é o consumo horário em $kg.h^{-1}$ e;

P - é a potência em kW.

Correlacionando o consumo de combustível com o desempenho do trator, Jenane et al. (1996) relatam que, dependendo da superfície do solo, o menor consumo de combustível obtido ocorre quando o patinamento está entre 10 e 30%. Entretanto, para se obter a máxima eficiência de tração a A ASAE EP496.2 (2003), idealiza que os patinamentos para solos sem mobilização devem ficar entre 8 a 10% para solos revolvidos entre 11 e 13% e em solos arenosos entre 14 e 16%.

1.3 Agricultura de precisão

Dentro de uma economia globalizada e competitiva, é necessário o aumento da eficiência em todos os setores da economia, inclusive na agricultura. A evolução da informática, tecnologias em geoprocessamento, sistemas de posicionamento global e muitas outras tecnologias estão proporcionando à agricultura uma nova forma de se enxergar a propriedade rural, administrando as variabilidades existentes dentro da propriedade, trabalhando estas variabilidades separadamente. (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002).

O termo agricultura de precisão (AP) refere-se a um conjunto de técnicas que permite o gerenciamento localizado do manejo das culturas. Sua principal diferença em relação aos métodos tradicionais de cultivo é o fato de tratar a área trabalhada considerando a variabilidade espacial e até temporal dos atributos dos solos e das plantas (BALASTREIRE, 2000). A AP se desenvolveu então da necessidade de se considerar a variabilidade existente em uma área de produção agrícola, buscando a otimização nas quantidades de insumos a serem aplicados e, conseqüentemente, a diminuição de custos e impactos ambientais (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002).

Não só pela questão econômica, mas também por esse apelo ambiental, de reduzir a utilização de insumos e tornar a atividade agrícola cada vez mais economicamente viável e ecologicamente correta, a agricultura de precisão tende a se tornar cada vez mais comum nas propriedades rurais. Para Tschiedel et al. (2002), as tecnologias hoje existentes já permitem que se tenha um grande conhecimento das variabilidades encontradas entre as diferentes áreas da propriedade, proporcionando a tomada de decisões com base em dados mais precisos, reduzindo custos e os impactos ambientais.

O processo deve ter um ponto de partida e, geralmente, inicia-se pelo mapa de produtividade, que é a informação mais completa para se visualizar a variabilidade espacial das lavouras. Várias outras ferramentas estão sendo propostas e testadas, visando sempre identificar as manchas existentes em um talhão, como as fotografias aéreas, as imagens de satélite, a videografia, a amostragem de solo em grade e a condutividade elétrica do solo. Todas merecem a devida atenção, e os avanços da pesquisa deverão indicar se haverão novas

tendências. No entanto, nenhuma informação é mais real que a própria resposta da cultura (MOLIN, 2002).

As culturas de grãos, normalmente, apresentam regiões com produtividades estáveis temporalmente, ou seja, regiões altamente produtivas ou de baixa produtividade em determinados locais ao longo dos anos (MOLIN, 2002). Esse fenômeno pode ocorrer devido a condições de fertilidade dos solos, infestação de plantas daninhas, pragas de solo, entre outros. Com isso, é possível monitorar o comportamento dessas regiões da lavoura e estabelecer intervenções específicas de manejo, sejam elas de caráter químico, físico ou biológico (BELLÉ, 2009).

Em lavouras com histórico de vários anos de agricultura de precisão, a variação química, com relação à disponibilidade de nutrientes tende a diminuir. Porém, outros fatores podem se tornar limitantes ao potencial produtivo das culturas, como por exemplo, declividade, exposição solar e disponibilidade hídrica, entre outros. Neste caso, a utilização de taxa variável de sementes pode se tornar uma estratégia da agricultura de precisão para melhorar o potencial produtivo da área como um todo.

1.4 Relevo

O potencial produtivo de uma cultura é influenciado por fatores referentes ao solo, relevo, clima, potencial genético, adubação, tratamentos culturais, etc. Segundo Carvalho et al. (2003), a variabilidade espacial nos atributos do solo pode ser influenciada pelos seus fatores intrínsecos (fatores de formação, que são o material de origem, relevo, clima, organismos e tempo) e pelos fatores extrínsecos, normalmente relacionados com as práticas de manejo.

Dentre os fatores intrínsecos, um que merece destaque é o relevo. O tipo de relevo afeta a redistribuição de água e sedimentos na paisagem, podendo afetar o potencial produtivo. Áreas de relevo ondulado acentuam processos erosivos e tendem a diminuir a matéria orgânica dos solos (FRAGA; SALCEDO, 2004)

A variabilidade existente no solo é consequência da ação dos fatores que o formam sobre o material de origem, tais como: clima, relevo, organismos, tempo, juntamente com a interferência antrópica através da atividade agrícola

principalmente. Com a utilização de fertilizante em faixas ou em linhas, pode-se agir, com o passar do tempo, no aumento da heterogeneidade química do solo, com implicações sobre a variação de produtividade em áreas agrícolas. A atividade humana, embora trabalhe de forma a uniformizar os sistemas, também conduz à variabilidade (SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000).

Técnicas de agricultura de precisão tendem a diminuir as variações de fertilidade encontradas nos solos agrícolas. Porém, mesmo áreas com certo grau de homogeneidade quanto à fertilidade, apresentam variação de potencial produtivo. Para Bellé (2009), a maior ou menor disponibilidade de alguns nutrientes também pode ser influenciado pelo relevo. Nutrientes como o potássio, por ser facilmente movido no solo, possuem grande relação com o fluxo preferencial das águas e o relevo. Com isso, as estratégias de manejo devem, na sua essência, correlacionar tais parâmetros, visto que a dinâmica dos nutrientes não atenderá ao mesmo padrão de disponibilidade e o comportamento da água no solo poderá ser variável ao longo do ciclo das culturas.

O tipo de relevo pode influenciar na redistribuição das águas, disponibilidade de nutrientes, incidência solar sobre as plantas, ocorrência de pragas e doenças, entre outros fatores, podendo assim agir na distribuição das diferenças, principalmente da produtividade e da fertilidade.

1.5 A Soja

Dentre as fabáceas (leguminosas), a soja é a mais cultivada a nível mundial, destacando-se com participação próxima de 51% da produção total, correspondendo a mais de 263,7 milhões de toneladas, numa área de, aproximadamente, 103,5 milhões de hectares. Os EUA são os maiores produtores mundiais, seguido de Brasil, Argentina e China, os quais são responsáveis por 87,6% da produção (EMBRAPA, 2012). Tamanha área cultivada justifica-se pela importância do produto tanto para o consumo animal, na forma de farelo de soja, quanto para o consumo humano, através do óleo e proteínas. Mais recentemente, o óleo está sendo usado na produção de biocombustíveis.

Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a produção brasileira de grãos do período 2011/2012 chegou a 157,8 milhões de toneladas, sendo que a soja é a cultura de maior participação na produção, com um volume de, aproximadamente, 75 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2012). No Brasil, a cultura ganhou importância a partir da década de 1970, quando passou de 1,3 milhão de hectares, para aproximadamente 24,2 milhões na safra 2011/2012. O aumento não foi apenas em área, mas também em produtividade, graças a utilização de novas tecnologias. Uma tecnologia que ganhou grande destaque nos últimos anos, e que carece de muita pesquisa, pela rapidez com que evolui e pela complexidade do sistema, é a agricultura de precisão.

Com o gerenciamento dos dados adquiridos com a agricultura de precisão é possível analisar a área como um todo e, se possível, classificar em zonas de condições similares, que podem ser manejadas de forma semelhante. A metodologia existente para a determinação de zonas de manejo em áreas de lavoura se mostra bastante promissora. Com isso começam a surgir alternativas que visam um manejo localizado dessas áreas. Uma alternativa pode ser a utilização de diferentes densidades de semeadura. Muito já se estudou a respeito de população de plantas de soja, porém, é uma técnica de manejo que sempre requer novos estudos, pois à medida que novas tecnologias são incorporadas aos sistemas produtivos, são necessários novos estudos para adequar a melhor população, com cada ecossistema.

Nessa linha de pesquisa sobre população de plantas em soja, Dutra et al. (2007), realizaram levantamento de resultados e, observaram que o efeito do genótipo influencia diretamente na resposta a diferentes populações, tendo cultivares que aumentam a produtividade com o aumento na população de plantas, outras que mantêm a produtividade estável e algumas cultivares reduzem sua produtividade com o aumento da população de plantas.

Observando este comportamento, Zobot (2009), estudou diferentes cultivares, conjuntamente com as práticas de manejo densidade de semeadura e espaçamento entre linhas, avaliando-as com relação à produtividade de grãos. Observou comportamento distinto entre os genótipos e propôs uma classificação das cultivares em três grupos de respostas às práticas, ou seja, cultivares com plasticidade, pouco plásticas e não plásticas. Assim, os genótipos que quando submetidos às diferentes densidades de semeadura e espaçamento entre linhas não apresentarem variações

em relação a produtividade de grãos, são considerados como cultivares com plasticidade. Já os genótipos que apresentarem resposta para apenas uma das práticas (espaçamento entre linhas ou densidade de semeadura), são considerados como genótipos com pouca plasticidade. E as cultivares que apresentarem resposta variada tanto para espaçamento entre linhas, como para a densidade de semeadura, podem ser consideradas como plantas não plásticas.

As Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e Santa Catarina 2008/2009 indicam que a população de plantas para a cultura situa-se em torno de 300 mil plantas.ha⁻¹, tolerando uma variação de 20% para mais ou para menos, sem alterar significativamente a produtividade de grãos. No caso de algumas cultivares em particular, a população de plantas altera significativamente a produtividade da soja em função da arquitetura da planta, da susceptibilidade ao acamamento e consequentes perdas na colheita, além dos prejuízos causados por doenças (REUNIÃO DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO SUL, 2008). Porém, devido a grande gama de cultivares recomendadas e, com comportamentos distintos, essa recomendação não é mais indicada, devendo a densidade de semeadura ideal ser recomendada para cada cultivar, em cada local.

De acordo com Gaudêncio et al. (1990), o excesso de plantas, mesmo nos casos em que não se observa redução na produtividade de grãos, modifica a arquitetura e o aproveitamento de luz, deixando-as mais sujeitas ao acamamento, podendo ocasionar perdas na colheita.

Devido aos fatores expostos, sabe-se que adequar a população de plantas para as distintas condições encontradas na lavoura, tende a maximizar a produtividade.

2 CAPÍTULO 1:
AVALIAÇÃO DO CONJUNTO TRATOR SEMEADORA-ADUBADORA
COM SISTEMA DE TAXA VARIÁVEL DE SEMENTES

2.1 Introdução

Uma semeadura adequada ou bem feita é um aspecto determinante para se obter sucesso na lavoura. Problemas relacionados à instalação da cultura poderão acompanhar a lavoura até o fim do ciclo. O bom resultado da semeadura não depende apenas da semente, mas, também, da maneira como se realiza a operação.

As semeadoras vêm evoluindo ao longo do tempo, ganhando tecnologias e aumentando sua complexidade. Atualmente encontram-se no mercado as semeadoras-adubadoras a taxa variável. Conhecer bem as máquinas envolvidas no processo de semeadura pode fazer diferença nos resultados de uma lavoura, devendo, os produtores, escolher o equipamento ideal para atender as necessidades da cultura. Nas semeadoras-adubadoras tradicionais, o acionamento do mecanismo dosador é através de ligação mecânica com a roda da semeadora. Já nos implementos com sistema de taxa variável, o acionamento do mecanismo dosador é feito por motor hidráulico, cuja bomba hidráulica é acionada pela tomada de potência, ou diretamente pelo sistema hidráulico do trator. Através de um software, uma central controla a vazão da(s) bomba(s) hidráulica(s), podendo variar a quantidade de sementes e/ou adubos que são depositados no solo, de acordo com taxas pré-fixadas, ou então seguindo mapas de aplicação pré-programados, referenciados por GPS.

Pressupõe-se que diferentes formas de acionamento do sistema dosador em semeadoras possam ocasionar diferentes demandas de potência do trator e influenciar no desempenho do conjunto trator e semeadora e na distribuição longitudinal de sementes.

Devido à falta de informações tanto no meio científico como pelas empresas fabricantes de equipamentos agrícolas, no que diz respeito às alterações que a modificação no sistema de acionamento do mecanismo dosador pode ocasionar no desempenho do conjunto mecanizado (trator+semeadora) e, pelo fato da operação de semeadura estar relacionado com o sucesso ou fracasso da cultura, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho do conjunto trator e semeadora com taxa variável em sistema plantio direto, em três velocidades de trabalho, determinando de forma direta a força de tração na barra quando o trator estiver tracionando a semeadora, o

patinamento das rodas motrizes e o consumo de combustível. Indiretamente determinar a superfície de contato do pneu com o solo, potência na barra de tração, distribuição dinâmica de peso, avanço cinemático e consumo específico de combustível. Avaliar se a variação na velocidade de operação influencia o estande inicial e final de plantas, distribuição longitudinal de plantas e produtividade de grãos.

2.2 Material e Métodos

Buscando a avaliação do conjunto trator e semeadora em relação ao desempenho em operação de semeadura, este trabalho propôs-se a análise do conjunto trator (MF 680) e semeadora-adubadora (Victória Top Control 5400), em três velocidades de operação.

2.2.1 Caracterização do local do experimento

O experimento foi conduzido na Granja Limburgia, pertencente a Sementes Van Ass, latitude 28°01'42" Sul e longitude 53°33'15" Oeste, com altitude média aproximada de 530 m, na localidade de Esquina Beck, município de Palmeira das Missões, RS (Figura 1).



Figura 1 – Vista da área experimental gerada pelo software Google Earth

Fonte: Google Earth, acesso em: 14/09/2013.

O relevo é plano a suavemente ondulado, com solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico Típico (EMBRAPA, 1999). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa subtropical. A temperatura média normal do mês mais quente ocorre em janeiro (24,6°C) e a do mês mais frio em junho (12,9°C). A média normal das máximas é de 30,4°C, em janeiro, e de 19,2°C, em junho. A média das temperaturas mínimas do mês mais quente é de 18,7°C, em dezembro, e de 9,3°C a do mês mais frio, em junho. As chuvas são distribuídas regularmente em praticamente todos os meses do ano, sem estação seca definida, com precipitação oscilando entre 1.500 mm a 1.750 mm.

A área delimitada para o experimento de campo (Figura 1) foi de 100 m de comprimento e 20 m de largura. O solo estava coberto com palha de aveia picada, e a determinação da umidade do solo foi realizada através do método gravimétrico, onde se coletou 12 subamostras, na profundidade de 0-40 cm, utilizando trado de rosca. Também foi determinado a resistência a penetração, com penetrômetro digital. As medições de resistência à penetração foram realizadas através de um penetrômetro marca Falker, modelo PLG1020, com capacidade de memória de até 2.000 medições. O cone utilizado foi o tipo dois de 12,83 mm de diâmetro. A

resistência a penetração média foi obtida em leituras no perfil de 0 a 40 cm de profundidade do solo, a partir da superfície, sendo que a configuração do aparelho era para determinar o valor a cada 25mm. A amostragem foi feita em seis locais diferentes com três repetições por ponto.

2.2.2 Trator teste

O trator teste instrumentado para aquisição dos dados no experimento de campo foi um Massey Ferguson, modelo MF 680, com tração dianteira auxiliar (TDA) e, aproximadamente, 6040 horas de uso. O trator possuía motor diesel de 4 tempos, turbo alimentado, com 6 cilindros, 6000 cm³, modelo 1006.6T, marca Perkins. De acordo com as especificações técnicas do modelo, a potência máxima é de 127 kW (173 CV) no motor a 2200 RPM e torque máximo de 667 Nm (68 m.kgf) a 1400 rpm. O trator, segundo o fabricante, admite peso máximo lastrado de 9375 kg, distribuído entre os eixos cuja distância é de 2914 mm.



Figura 2 – Trator teste utilizado no experimento.

O sistema de transmissão do trator era composto por 12 marchas à frente e 5 marchas a ré, com transmissão do tipo mecânica sincronizada, realizada por 2 alavancas seletoras. Uma delas destinada as marchas e a outra ao grupo (simples, reduzida e ré) como também ao regime (alto e baixo). O escalonamento das marchas consta na Tabela 1, com as marchas que foram utilizadas nos testes destacadas em negrito.

O trator teste estava equipado com pneus R1 de construção diagonal, sendo que os pneus dianteiros eram 18.4-26 R1, marca GoodYear dyna torque III de 10 lonas e os traseiros 24.5-32 R1, marca GoodYear dyna torque III de 10 lonas, com as pressões de inflação de 96,53 kPa (14 PSI) no rodado traseiro e 148,24 kPa (21,5 PSI) no rodado dianteiro.

Tabela 1 – Escalonamento de marchas do trator teste MF 680.

Marchas		Velocidade (km.h ⁻¹) dos pneus 24.5-32R1/2160
Sentido	Marcha	
F1	1 ^a R	2,73
F2	1 ^a S	3,38
F3	2^a R	4,30
F4	2 ^a S	5,33
F5	3^a R	6,71
F6	3^a S	8,33
F7	4 ^a R	9,64
F8	4 ^a S	11,96
F9	5 ^a R	15,88
F10	5 ^a S	19,69
F11	6 ^a R	24,14
F12	6 ^a S	29,95
Ré 1	1 ^a Ré	4,26
Ré 2	2 ^a Ré	6,72
Ré 3	3 ^a Ré	10,5
Ré 4	4 ^a Ré	15,07
Ré 5	5 ^a Ré	24,82

F: frente; R: reduzida; S: simples.

2.2.3 Semeadora utilizada no experimento

Foi utilizada uma semeadora-adubadora da marca Stara, modelo TOP Control 5400, com caixa de sementes suspensas, sendo originalmente de 14 linhas, porém, foram retiradas 3 linhas para atingir o espaçamento desejado de 0,5 m. Cada linha de semeadura foi composta de: um mecanismo dosador do tipo pneumático; um disco de borda lisa, com disco de 18 polegadas, para o corte da palhada; um sulcador de haste para a deposição do adubo no solo; um sulcador de disco duplo para sementes e de rodas controladoras da profundidade de semeadura e de fechamento e compactação do sulco. O peso da semeadora vazia era de 6600 kgf, onde foram adicionados 1500 kg de adubo (75% da capacidade) e 700 kg (50% da capacidade) de sementes, passando a semeadora carregada a ter um peso de 8800 kgf.



Figura 3 – Semeadora Victória Top Control 5400 utilizada no experimento

O acionamento dos mecanismos dosadores de sementes e adubo foi feito por motores hidráulicos acionados por uma bomba hidráulica acoplada a tomada de potência do trator (TDP). Estes podem variar a dose aplicada, aumentando ou diminuindo a vazão dos motores hidráulicos. O sistema pneumático de deposição de sementes também era acionado pela TDP.

A regulagem feita no equipamento foi para aplicar as taxas fixas de 100 kg de fertilizante.ha⁻¹ a 12 cm de profundidade e 20 sementes por metro linear a 4 cm de profundidade.

2.2.4 Determinações realizadas no trator teste

Foram realizadas, no trator teste, determinações prévias ao experimento de campo (pesagem, lastragem e raio dinâmico) e também no momento da realização do mesmo (força de tração na barra, consumo horário de combustível, patinamento, velocidade de operação) e que estão descritos nos itens subsequentes.

2.2.4.1 Pesagem do trator

A pesagem do trator teste foi realizada em balança plataforma pertencente a unidade de beneficiamento de sementes da própria granja onde foi realizado o experimento. Foi obtido o peso total e por eixo. O peso correspondeu ao trator com tanque com 180 litros de combustível (Diesel B5) e com lastro hidráulico e lastros metálicos na dianteira (420 kg) e eixo traseiro (576 kg).

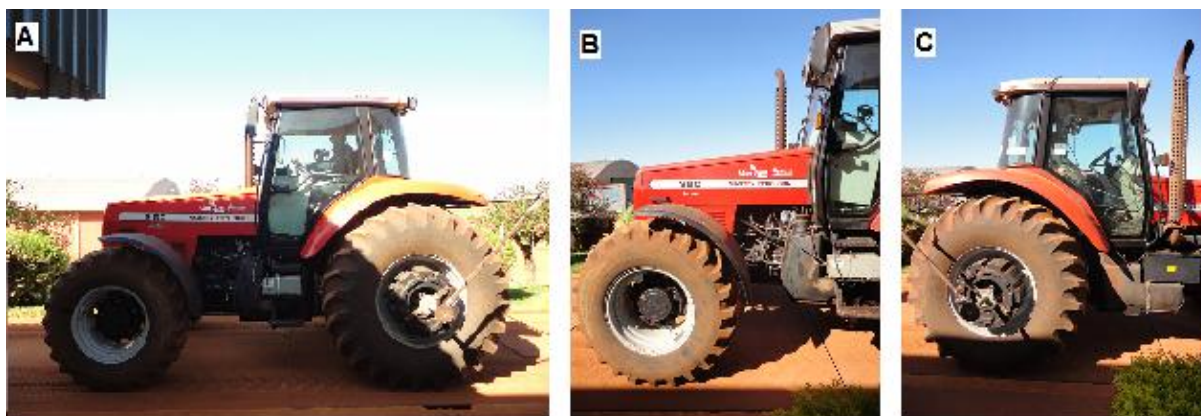


Figura 4 – Pesagem do trator teste: a) peso total; b) peso do eixo dianteiro; c) peso do eixo traseiro.

O peso total foi obtido colocando o trator com toda sua extensão em cima da balança, já a pesagem por eixo foi obtida posicionando apenas um rodado sobre a balança, primeiramente o rodado traseiro e posteriormente o rodado dianteiro. Os valores de peso e sua distribuição proporcional por eixo encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Peso do trator e distribuição por eixo.

Pesagem	Peso Vazio kN (kgf)	Percentual (%)
Eixo dianteiro	36,01 (3672)	40,2
Eixo traseiro	53,56 (5462)	59,8
Peso total	89,57 (9134)	100

2.2.4.2 Área de contato dos pneus

A área de contato é influenciada, entre outros fatores, pelas dimensões do pneu, pressão interna, peso aplicado à roda e também pela deformação e recalque da superfície de apoio.

Baseado nisso, a medição da área de contato dos pneus foi realizada através do método direto, a partir da impressão do pneu sobre o solo em todas as rodas nas

pressões de 96,53 kPa (14 PSI) no rodado traseiro e 148,24 kPa (21,5 PSI) no rodado dianteiro.

Para a verificação da superfície de contato, o trator foi posicionado sobre o terreno e o contorno dos pneus foi marcado com cal branca a fim de delimitar a impressão do pneu sobre o solo, onde a área interna não atingida pela cal correspondia à área efetivamente em contato com o solo (Figura 5).



Figura 5 – Determinação da superfície de contato pneu com o solo: a) solo e pneu sendo marcados com cal branca para delimitação da área de contato; b) marcação do rodado dianteiro; c) medição das dimensões da elipse do rodado traseiro; d) medição das dimensões da elipse do rodado dianteiro.

Posteriormente o trator foi deslocado em marcha ré para fora da área delimitada pela cal e, então, eram dispostas duas trenas graduadas na posição do

menor e maior eixo. Após, foi fotografada a área delimitada pela cal juntamente com as trenas.

A área de contato foi estimada com base nos comprimentos medidos com trena das cordas da elipse (largura e comprimento), utilizando-se a equação a seguir:

$$A_{eil} = b \cdot L \cdot \beta \quad (16)$$

Onde:

A_{eil} - é a área de contato do pneu com o solo;

b - é o eixo menor da elipse formada pelo contato do pneu com o solo;

L - é o eixo maior da elipse;

β - é o coeficiente de elipticidade ($\pi/4$).

2.2.4.3 Determinação do raio dinâmico

O raio dinâmico das rodas foi determinado em uma condição padrão com alta resistência à penetração e com o mínimo de resistência ao rolamento, em um caminho não pavimentado com superfície homogênea, em nível horizontal com baixa rugosidade superficial. Os valores obtidos auxiliam no cálculo do avanço cinemático e outros cálculos que se baseiam nos valores de raio dinâmico.

A metodologia empregada consistiu em fazer uma marca com giz sobre os pneus do eixo dianteiro e traseiro e, utilizando-se essa referência, foi demarcado a distância percorrida após cinco voltas, com o trator deslocando-se em 2ª marcha reduzida baixa a 1200 rpm sem exercer força de tração na barra. Logo após foi esticada uma trena e realizada a aferição da distância percorrida pelos rodados.



Figura 6 – Procedimento para verificação do raio dinâmico

As medidas do trator foram realizadas com a tração dianteira auxiliar (TDA) desligada e, logo após, com a TDA ligada, realizando-se três repetições. Após os testes, o raio dinâmico foi calculado com base na equação:

$$R_d = \frac{D_r}{2 \cdot \pi \cdot n} \quad (17)$$

Onde:

R_d - é o Raio dinâmico em mm;

D_r - é a distância percorrida pela roda (mm);

n - é número de voltas do pneu

π - é a constante.

2.2.5 Resistência ao rolamento

Para a obtenção dos valores de resistência ao rolamento, foi utilizada uma célula de carga instalada no trator teste conectada a outro trator por meio de uma corrente metálica. O trator teste ficava deslocado da linha central do outro trator para que não houvesse coincidência dos locais por onde se deslocavam os rodados dos

dois tratores. Pelo *datalogger* foi realizado o registro instantâneo através das leituras das cargas, representando os valores reais de resistência ao rolamento do trator teste, o qual estava com o motor ligado, a caixa de câmbio em neutro e com o bloqueio do diferencial acionado.

2.2.6 Instrumentação eletrônica de aquisição de dados

Todos os dados foram coletados por meio de uma instrumentação eletrônica desenvolvida no Núcleo de Ensaio de Máquinas Agrícolas (NEMA) da UFSM por Russini, (2009). A instrumentação ilustrada na Figura 7 adquire dados em tempo real de velocidade, patinamento, força de tração e consumo de combustível em um intervalo de aquisição que pode ser regulado por meio do *software* utilizado na interface com a unidade de armazenamento, o qual foi configurado para adquirir dados a cada 2 segundos.

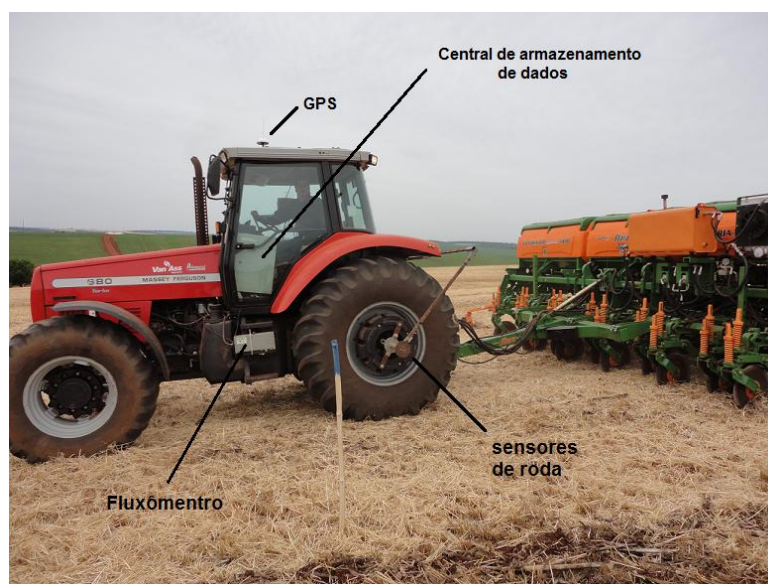


Figura 7 – Trator teste instrumentado com sensores de roda, fluxômetro, GPS e central de armazenamento de dados (*datalogger*).

Os dados dos sensores instalados no trator foram transmitidos e posteriormente, armazenados em um *datalogger* da marca *Campbell Scientific*, modelo CR 1000 (Figura 8).



Figura 8 – *Datalogger* para armazenamento dos dados adquiridos pelos sensores.

2.2.6.1 Processamento dos dados

Os dados adquiridos e armazenados no *datalogger* foram descarregados para um *notebook*, por meio de um cabo que faz a ligação física entre a porta serial de padrão DB-9 de saída de dados do *datalogger* com a porta USB (*Universal Serial Bus*) do computador. Logo em seguida os dados foram descarregados através de um *software* específico (PC400W®) que permite a comunicação eletrônica com o *datalogger*, gerando assim um arquivo texto que pode ser aberto por qualquer *software* de planilhas eletrônicas, como por exemplo, o Microsoft Excel®.

2.2.6.2 Força de tração

A força de tração demandada pela semeadora ao realizar a atividade de semeadura foi medida diretamente pela instrumentação por meio de uma célula de carga de 100 kN (Figura 11) gerando pulsos elétricos em Milivolt (mV) em igual intensidade ao esforço requerido. De acordo Russini (2009), esses pulsos elétricos (em $\text{mV}\cdot\text{segundo}^{-1}$) são convertidos e armazenados no *datalogger*.



Figura 9 – Sistema de engate e célula de carga para medição da força de tração.

Fonte: Russini, 2009.

2.2.6.3 Sensores das rodas motrizes

Foram utilizadas quatro rodas dentadas de 32 dentes cada acopladas ao rodado motriz, presas a um extensor fixado ao aro do trator (Figura 10). Cada uma dessas rodas dentadas possui um sensor indutivo capaz de verificar a frequência da passagem dos ressaltos da engrenagem no sensor, conforme a rotação da mesma. Essa frequência é utilizada para que se possa verificar a velocidade da roda, o que é feito com base na frequência e no perímetro da roda, esse cálculo é apresentado a seguir:

$$V_{\text{roda}} = \frac{\text{Freq} \cdot \text{Per} \cdot 3,6}{n}$$

(18)

Onde:

V_{roda} - é a velocidade da roda ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$);

Freq - é a frequência captada pelo sensor (Hz);

Per - é o Perímetro da roda (m);

n - é a número de dentes da engrenagem.



Figura 10 – Detalhe da roda dentada e sensor do tipo indutivo.

Fonte: Russini (2009)

2.2.6.4 Velocidade real do trator

A aquisição do valor da velocidade real do trator foi realizada por um receptor de sinais de satélite conectado diretamente a uma barra de luzes, marca Trimble, modelo AG 150 (Figura 11).



Figura 11 – Barra de luzes conectada ao receptor GPS.

Fonte: Russini (2009)

2.2.6.5 Patinamento das rodas motrizes

A medida do patinamento das rodas motrizes foi obtida por cálculo baseado nos dados de velocidade do trator e velocidade das rodas. Para a determinação do patinamento, a instrumentação utiliza a metodologia desenvolvida por Gabriel Filho et al.(2004), em que o patinamento médio (S) é obtida pela equação 11, descrita anteriormente.

2.2.6.6 Consumo de combustível

Para se obter o consumo de combustível, foi utilizado um fluxômetro marca Oval M-III, modelo LSF 41 (Figura 12), que fornece um número de pulsos do volume de combustível que passa pelo mesmo. A partir desses dados, o programa realiza o cálculo do consumo de combustível em $L.h^{-1}$.

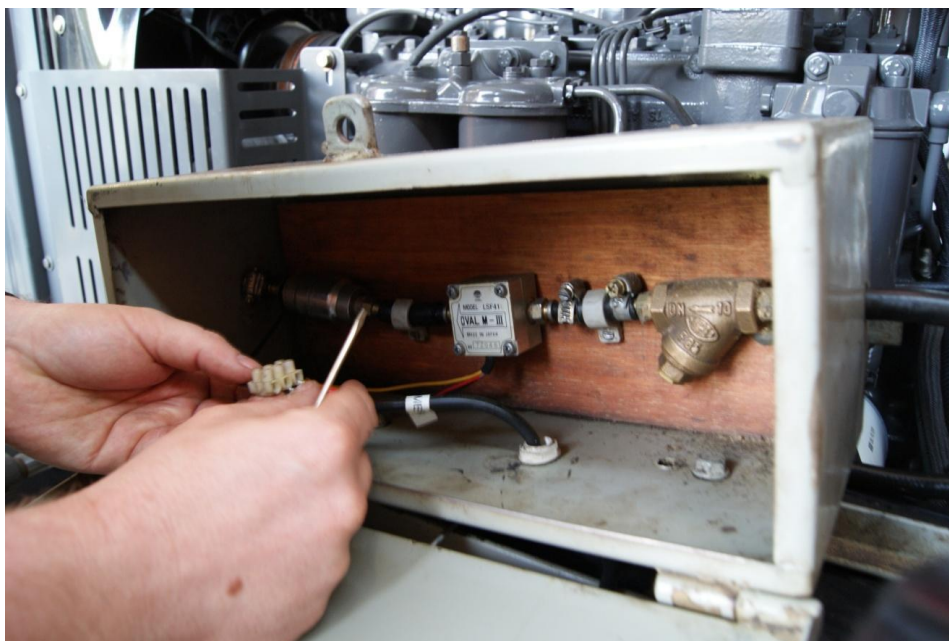


Figura 12 – Caixa de proteção e ligações do fluxômetro.

Fonte: Russini (2009)

O consumo de combustível é calculado pela equação a seguir:

$$CS = Pul \cdot 1,8 \quad (19)$$

Onde:

Cs - é o consumo de combustível ($L \cdot h^{-1}$);

Pul - são os pulsos gerados pelo fluxômetro ($pul \cdot s^{-1}$).

Segundo Russini (2009), neste tipo de medição podem ser utilizados dois sensores, sendo que um deles mede a quantidade de combustível que entra na bomba injetora e outro que mede o retorno depois de passar pelos bicos injetores. No entanto a sistemática utilizada neste trabalho foi outra, onde o retorno dos bicos injetores é colocado depois do tubo de saída do fluxômetro após uma válvula de retenção, forçando o motor a consumir este excedente e, assim, não o contabilizando. Deste modo, toda a quantidade de combustível que passa pelo fluxômetro é consumida pelo motor.

2.2.7 Dados obtidos indiretamente

Com os dados e leituras obtidos diretamente, será possível o cálculo de outros parâmetros importantes, como:

- Pressão aplicada ao solo;
- Distribuição dinâmica de peso (equações 1, 2, 3 e 4);
- Avanço cinemático (equações 9 e 10);
- Potência na barra de tração (equação 12);
- Consumo específico (equação 15);
- Eficiência em relação à transmissão (foi considerada como 0,9);

2.2.8 Procedimentos experimentais e estatísticos

Foi avaliado o desempenho do conjunto trator-semeadora com sistema variável de taxa de sementes, em três diferentes marchas de operação (3^a S, 3^a R e 2^a R).

A coleta de dados nas três velocidades de operação utilizadas foi realizada em 100 metros de comprimento. Estes foram divididos em quatro blocos de 25 metros de comprimento cada. Assim, o delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições.

A densidade de semeadura foi ajustada para 20 sementes por metro (PG de 90%).

Para a repetição dos tratamentos foram consideradas as leituras de dados obtidas durante o percurso na parcela, na frequência de um registro a cada dois segundos, em todos os tratamentos. Isso quer dizer que na distância de 100 metros da parcela experimental eram obtidos 50 dados de força de tração, consumo instantâneo de combustível, velocidade de deslocamento e patinamento.

2.2.9 Outras avaliações

Além das avaliações do conjunto trator-semeadora já mencionados anteriormente, foram avaliados:

- Estande inicial de plantas (determinado aos 14 dias após a semeadura);
- Distribuição longitudinal de plantas na linha;
- Estande final de plantas (avaliado na maturação fisiológica);
- Produtividade de grãos (avaliado no fim do ciclo).

A distribuição longitudinal de plantas na linha foi avaliada através da percentagem de espaçamentos aceitáveis, falhos e duplos obtidos de acordo com metodologia das normas da ABNT (1994) e de Kurachi et al. (1989). As uniformidades foram avaliadas, considerando-se percentagens de espaçamentos: “duplos” (D), menores que 0,5 vezes o espaçamento médio esperado (Xref.);

“aceitáveis” (A), de 0,5 a 1,5 vez o espaçamento médio esperado ($X_{ref.}$), e “falhos” (F) maiores que 1,5 vez o espaçamento médio esperado ($X_{ref.}$).

No final do ciclo (maturação fisiológica da cultura), foi determinado o número de plantas por área (estande final de plantas).

Para análise da produtividade de grãos, foram coletadas as plantas de duas linhas de quatro metros cada, da área útil da parcela. As plantas foram colhidas e, posteriormente, trilhadas em trilhadeira estacionária. Após a limpeza dos grãos, os mesmos foram pesados e o teor de umidade foi corrigido para 13% de umidade.

Com a finalidade de igualar o número de amostragens dos dados armazenados no *datalogger* para todos os tratamentos, devido à diferença de velocidades avaliadas em uma mesma distância, foi fixado o número de 10 amostras por parcela. Como os tratamentos eram quantitativos, foram realizadas as análises de regressões utilizando o método dos polinômios ortogonais para obter-se o ajuste das equações, com auxílio do programa de análises estatísticas SISVAR, versão 5.1 (FERREIRA, 2011).

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Resistência a penetração

Os resultados de resistência a penetração do solo, coletados aleatoriamente dentro da área experimental, podem ser visualizados na Figura 13.

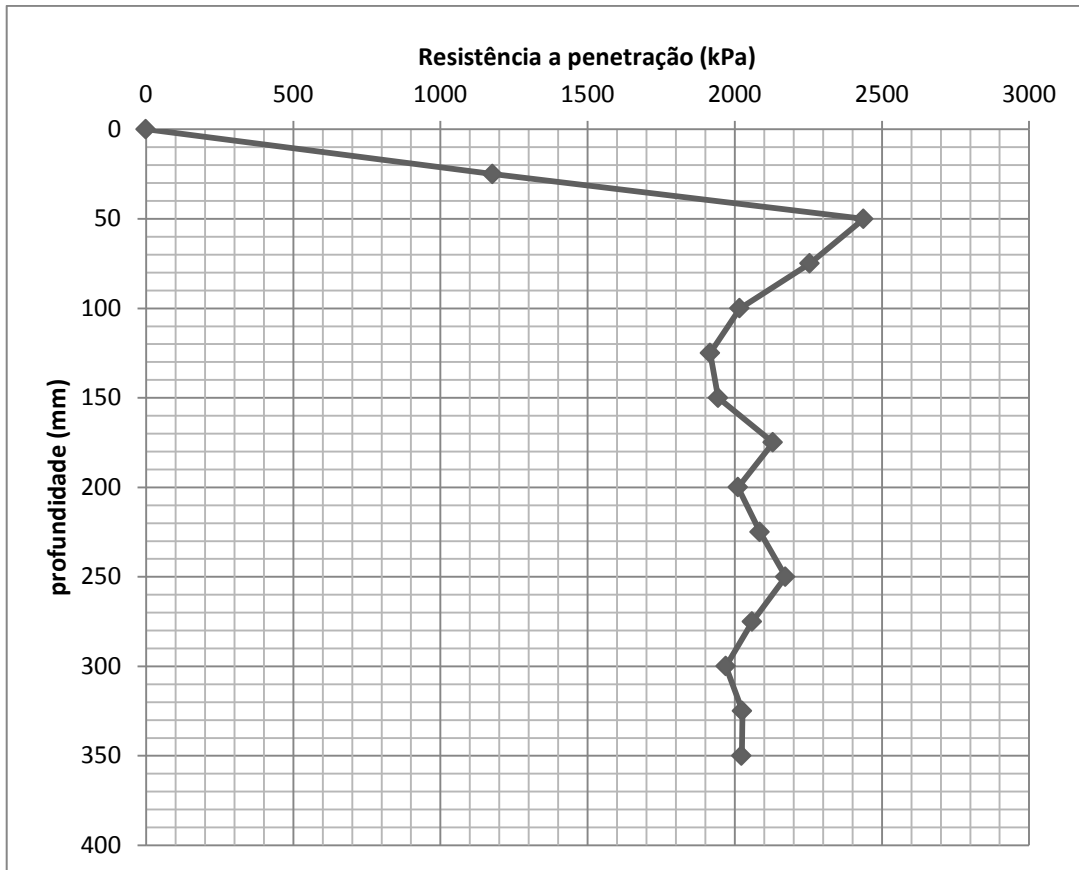


Figura 13 – Resistência a penetração média referente a área experimental, para umidade média do solo de 19,5 %.

Com relação à previsão de desempenho do trator em função da resistência a penetração, Witney (1988) propôs uma classificação qualitativa do solo, classificando as condições como:

- Ótima: é a melhor condição de tração que pode ocorrer em tráfego fora de estrada, na qual os pneus têm boa aderência sem visível recalque do pneu após a passagem do trator, equivale a um terreno de pastagem, duro e seco. A resistência à penetração por um penetrômetro de cone é de 1500 kPa;

- Boa: corresponde a terreno de palhada pós-colheita, seco, no qual podem ser notados sulcos rasos nos rastros dos pneus. A resistência medida pelo penetrômetro neste caso é de 1000 kPa;

- Média: seria a condição de terreno de palhada pós-colheita, úmido, no qual formam-se sulcos no rastro dos pneus, sendo esperados problemas de aderência. A resistência medida pelo penetrômetro de cone é de 500 kPa.

- Pobre: corresponde a terreno solto seco após mobilização mecânica do solo, no qual ocorre recalque pronunciado no rastro dos pneus, necessitando de cuidado para evitar patinamento excessivo. Resistência medida pelo penetrômetro de cone igual a 400 kPa;

- Ruim: seria a pior condição de tração com solo solto e úmido, bem como com a presença de sulcos profundos nos rastros dos pneus. Resistência medida pelo penetrômetro de cone menor que 200 kPa.

O mesmo autor ainda comenta que essas diversas condições citadas acima podem ser encontradas em um mesmo solo e na mesma área. Os valores elevados de resistência a penetração encontrados nesse experimento (Figura 15), explicam-se pela umidade em que se encontrava o solo no momento de instalação do experimento, sendo um Latossolo Vermelho Distrófico Típico, com 60,7 % de argila e 26,2 % de silte.

2.3.2 Pressão aplicada ao solo

Com relação à área de contato dos pneus com o solo, esta é uma interação entre os fatores: tipo de pneu, pressão de inflação e o peso incidente. Os dados que caracterizam essa área de contato, bem como a pressão aplicada ao solo, podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3 – Área de contato dos pneus com o solo e pressão aplicada ao solo.

Rodado	Peso N (kgf)	Área de contato com o solo (cm ²)	Pressão aplicada ao solo (N.cm ⁻²)
Dianteiro direito	18005 (1836)	1947,8	9,24
Dianteiro esquerdo	18005 (1836)	1566,9	11,49
Traseiro direito	26782 (2731)	3357,6	8,97
Traseiro esquerdo	26782 (2731)	3298,7	8,11
Total	89574 (9134)	10171	Média = 9,20

Em trabalho comparando rodado simples e duplo em diferentes pressões de inflação, Frantz (2011), encontrou pressões aplicadas ao solo que variaram de 6,4 a 8 N.cm⁻², com um trator de 88 kW (120 cv) e de 5.746 kg,

Deve-se resaltar que o valor médio aqui encontrado de 9,15 N.cm⁻², deve-se ao peso em que se encontrava o trator estar muito próximo do peso máximo recomendado pelo fabricante, que é de 9375 kg.

2.3.3 Avanço cinemático

Os valores normais do avanço para um bom desempenho do trator variam entre 1 e 5%. O trator utilizado nos testes apresentou 2,87% de avanço cinemático, ou seja, dentro dos valores esperados para um bom desempenho do sistema de tração dianteira auxiliar.

Tabela 4 – Raio dinâmico e avanço cinemático do trator MF680 utilizado no experimento.

	Sem tração		Com tração	
	Roda diant.	Roda tras.	Roda diant.	Roda tras.
Distância em 5 voltas (m)	21,108	27,018	20,735	27,303
Circunferência da roda	4,222	5,404	4,147	5,461
Raio dinâmico	0,672	0,860	0,660	0,869
	Avanço cinemático		2,87 %	

2.3.4 Velocidade de deslocamento

Para observar o desempenho do conjunto trator + semeadora com taxa variável, o objetivo foi testar três velocidades de deslocamento, próximas a 10, 7 e 4 km.h⁻¹. No entanto, o trator não conseguiu tracionar o implemento na marcha programada 4^aR. A velocidade mais alta alcançada com este conjunto foi conseguida com a marcha 3^aS, com os valores demonstrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Velocidade teórica (km.h-1) prevista no material técnico do trator testado e velocidade média registrada pelo receptor GPS AG 150 (Trimble).

	Catálogo	Média GPS
3ª S	8,33	5,6
3ª R	6,71	4,8
2ª R	4,30	4

A diferença entre as velocidades programadas e as velocidades reais observadas se deve a queda de rotação do motor, em função da demanda de tração na barra e de potência na tomada de potência, utilizada para transferir potência aos motores hidráulicos responsáveis pelo sistema de acionamento do mecanismo dosador e pelo sistema pneumático desses dosadores. Nessa situação, quando diminui a rotação do motor devido a sobrecargas, o motor utiliza sua reserva de torque, que é a diferença entre o torque máximo e o torque na rotação que proporciona a potência máxima. Diminui assim sua velocidade, aumentando o torque.

2.3.5 Transferência de peso

A tendência natural quando o conjunto trator + semeadora se desloca em trabalho, é de que ocorra uma transferência de peso do eixo dianteiro para o eixo traseiro. O aumento da velocidade de deslocamento, dentro dos limites testados, não foi suficiente para resultar em diferença significativa entre os valores de distribuição dinâmica, atribuídos aos tratamentos, como pode ser observado nas figuras 14 e 15.

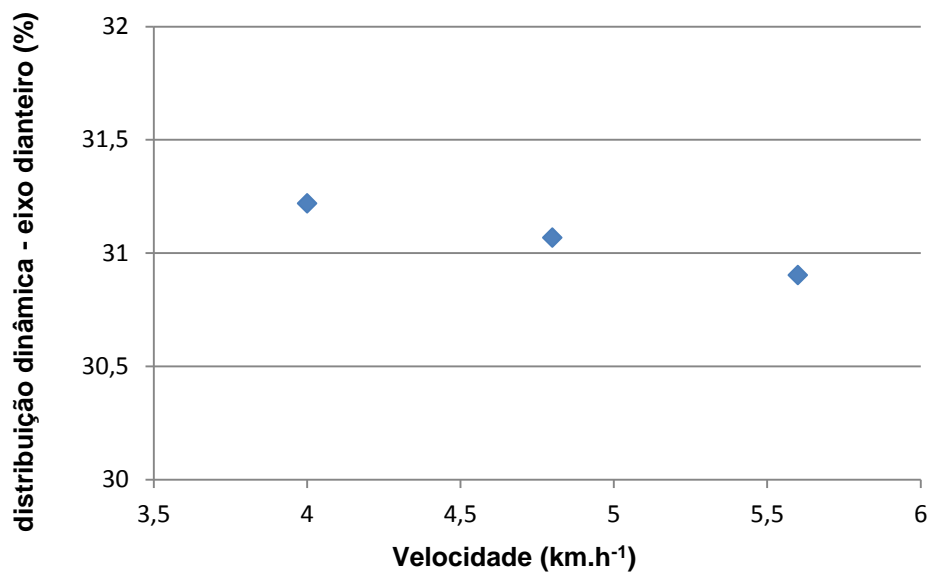


Figura 14 – Peso dinâmico incidente no eixo dianteiro do trator teste em função da velocidade de deslocamento.

Embora não tenha se observado diferença entre os tratamentos, os valores aqui expostos situam-se próximos a distribuição dinâmica de 30% - 70%, considerada ideal para tratores 4x2 TDA, conforme descrito por Márquez (2012)

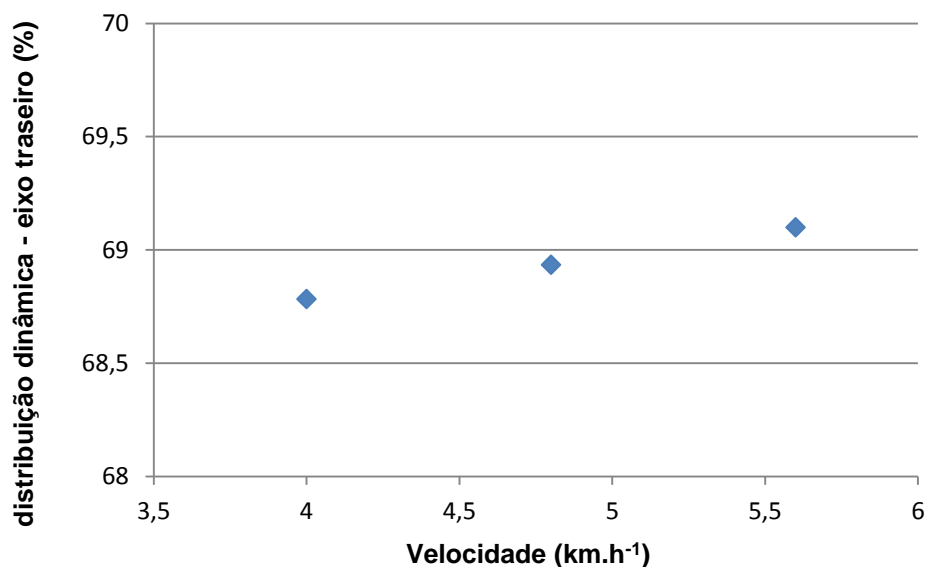


Figura 15 – Peso dinâmico incidente no eixo traseiro do trator teste em função da velocidade de deslocamento.

2.3.6 Força de tração

Embora com o aumento da velocidade tenha se observado um incremento nos valores médios de força de tração, não houve diferença significativa entre estes valores (Figura 16).

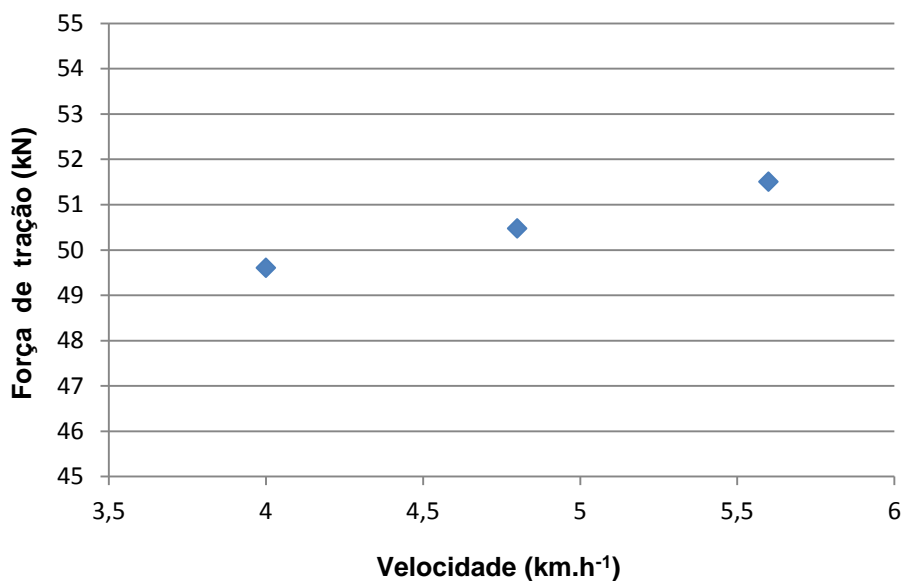


Figura 16 – Força de tração média em função da velocidade de deslocamento.

Estes resultados possuem comportamento similar ao encontrado por Silva et al. (2000), onde os autores trabalharam com velocidades entre 3,0 e 11,2 km.h⁻¹, e verificaram que a força de tração média requerida na barra de tração não sofreu variação significativa com alteração na velocidade. Porém, verificaram uma tendência de aumento no requerimento de força de tração, sendo que este aumento ocorreu à maior velocidade de deslocamento. Em trabalho variando a velocidade de deslocamento entre 5,28 e 7,80 km.h⁻¹, Silveira et al. (2005), também não encontraram diferença significativa para a variável força de tração na barra.

Segundo ASAE (1999), a força de tração necessária para a operação de semeadoras de grãos graúdos (semeadora de precisão), na direção horizontal do deslocamento, já incluída a resistência ao rolamento da máquina, com bom leito de semeadura, varia de 900 N \pm 25% por linha (somente semeadura) e de 3.400 N \pm

35% por linha (semeadura, adubação e herbicida). O valor médio encontrado nesse trabalho ficou em 4.590 N (4,59 kN) por linha, idêntico ao 3.400 + 35% supra citado. Estes valores altos encontrados, podem ser explicados pelo peso da semeadora carregada (8.800 kg), pelo uso de sulcador do tipo haste para a deposição de adubo, e devido a umidade em que se encontrava o solo, sendo um Latossolo Vermelho Distrófico Típico (com 60,7 % de argila e 26,2 % de silte), no momento da realização do experimento.

2.3.7 Potência em tração

Como podemos observar no item 1.2.3 deste trabalho, mais precisamente na equação 12, a potência em tração (expressa em kW) é determinada através da força de tração (em kN) e velocidade de deslocamento (km.h^{-1}). Observando a Figura 17 vemos que a demanda de potência na barra de tração aumentou proporcionalmente com o aumento da velocidade. Assim, os menores valores de demanda de potência foram observados na velocidade de 4 km.h^{-1} , e os maiores na velocidade de $5,6 \text{ km.h}^{-1}$.

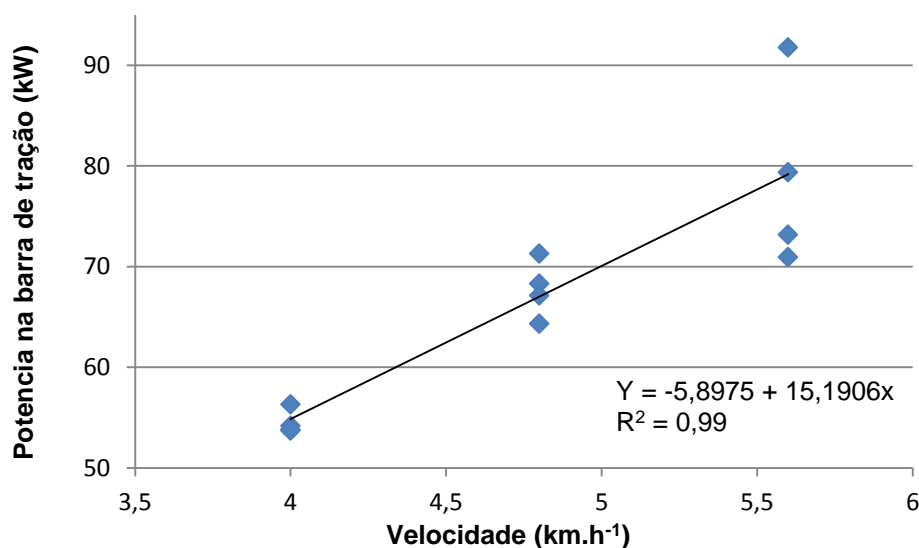


Figura 17 – Potência na barra de tração em função das diferentes velocidades de deslocamento.

Os resultados de demanda de potência na barra estão de acordo com diversos autores, que também observaram aumento da demanda em função do aumento da velocidade de deslocamento (ARAÚJO; CASÃO JUNIOR, 2001; MODOLO et al. (2004), OLIVEIRA (1997), SILVEIRA et al. (2005); TRINTIN et al. (2005).

2.3.8 Patinamento

Após análise estatística dos resultados, não houve diferença estatística entre os tratamentos. A Figura 18 mostra o patinamento médio do eixo traseiro, para as diferentes velocidades testadas.

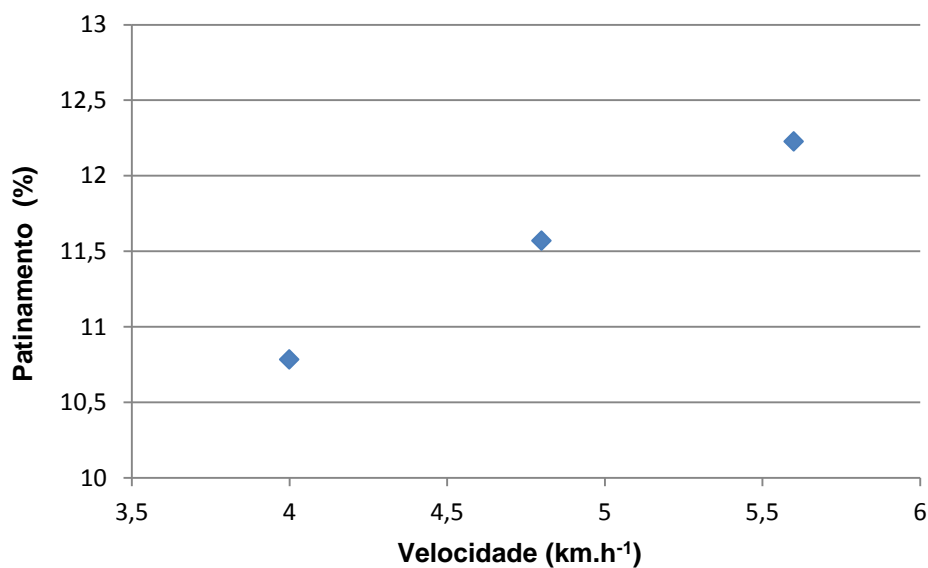


Figura 18 – Patinamento médio dos rodados traseiros em diferentes velocidades de deslocamento.

Mesmo que a força de tração média na barra tenha sido relativamente alta (50,53 kN), o patinamento médio de 11,52 % denota que o trator estava bem lastrado, o que pôde ser observado quando descrito anteriormente neste trabalho,

que o trator estava com lastros metálicos e água, deixando-o com o peso muito próximo do máximo recomendado pelo fabricante, que é de 9.375 kg.

Embora em alguns casos possa existir uma relação entre velocidade de deslocamento e patinamento, o trator bem lastrado e a magnitude dos tratamentos não evidenciou diferença significativa para esta variável.

2.3.9 Consumo de combustível

2.3.9.1 Consumo horário

O consumo horário de combustível (Figura 19), não apresentou diferença significativa quando se variou as marchas de deslocamento 2°R, 3°R e 3°S, proporcionando velocidades médias de deslocamento de 4, 4,8 e 5,6 km.h⁻¹, respectivamente, sendo que a média de consumo foi de 29,12 L.h⁻¹.

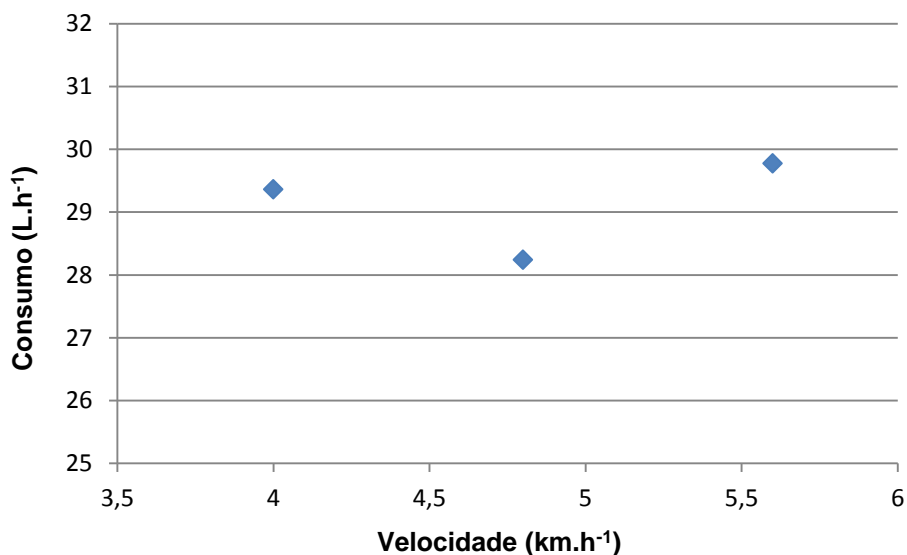


Figura 19 – Consumo horário de combustível em função das diferentes velocidades de deslocamento.

2.3.9.2 Consumo específico

Analisando o consumo de combustível em função do trabalho realizado por um determinado período (consumo específico, expresso em $\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$), observou-se diferença significativa entre os tratamentos (Figura 20).

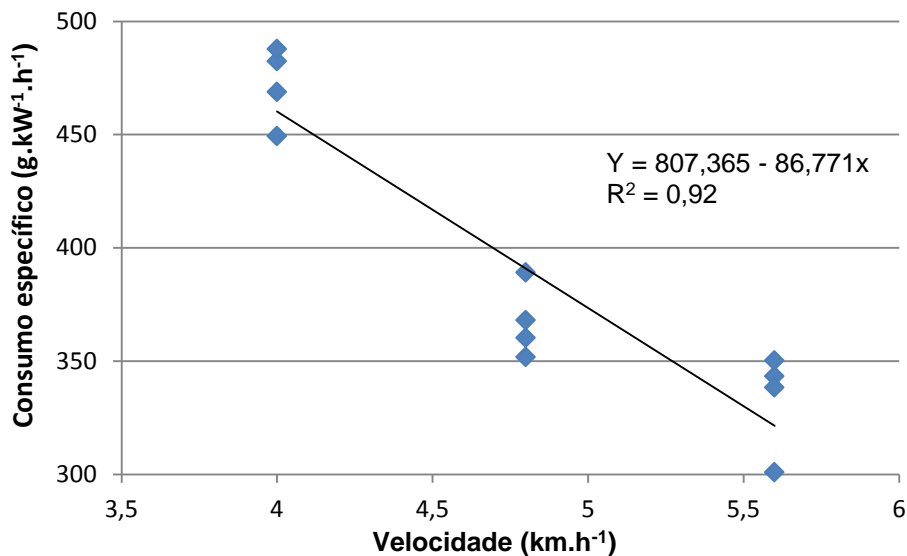


Figura 20 – Consumo específico de combustível em função das diferentes velocidades de deslocamento.

O gráfico da Figura 22 demonstra um comportamento linear decrescente do consumo específico em função do aumento da velocidade de deslocamento. A velocidade de 4 km.h^{-1} foi a que apresentou a maior média de consumo específico ($472,05 \text{ g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$). Com acréscimo na velocidade para $4,8 \text{ km.h}^{-1}$, o consumo específico médio ficou em $367,31 \text{ g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$. O menor valor de consumo foi alcançado com a maior velocidade, ficando em $333,21 \text{ g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$.

Trabalhando com velocidades de $4,8, 6,5, 7,8$ e $9,4 \text{ km.h}^{-1}$, Masiero et al. (2010), também observaram que, conforme se aumentou a velocidade do trator, menor foi o consumo específico. Resultados semelhantes também foram encontrados por Lopes et al. (2003) e Gabriel Filho et al. (2010).

2.3.10 Eficiência em tração

2.3.10.1 Eficiência em relação à resistência ao rolamento

A eficiência em tração pode ser definida por Neujahr (2001) como a relação existente em valores percentuais entre a potência de tração e a potência disponível no eixo das rodas motrizes do trator. Relacionando a potência útil disponível nos rodados com a resistência ao rolamento, obtiveram-se valores que podem ser visualizados na Figura 21.

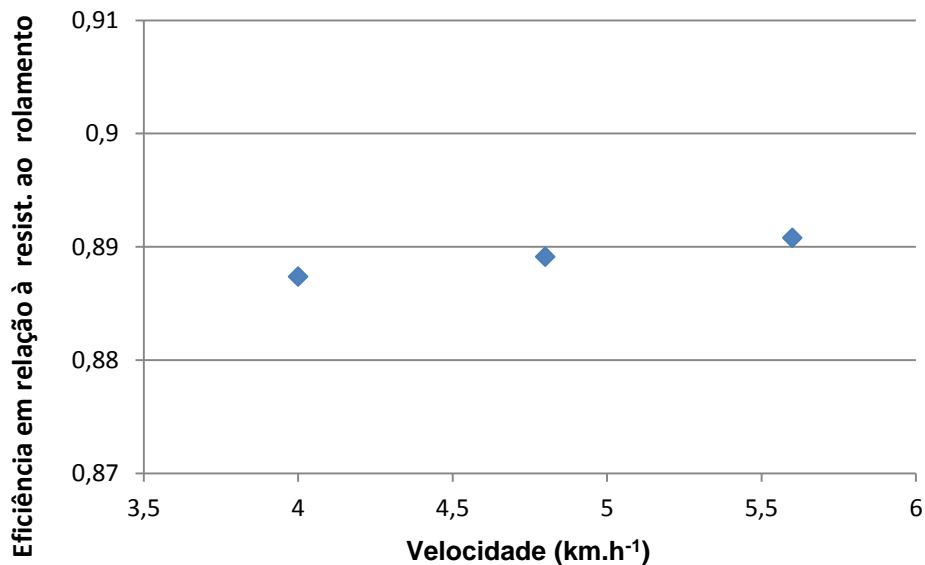


Figura 21 – Eficiência em tração em relação à resistência ao rolamento para as diferentes velocidades de deslocamento.

Não houve diferença significativa para esse parâmetro, dentro dos limites testados, sendo que a média geral de todos os tratamentos foi de 0,88, ou seja, 88%. Analisando a eficiência de resistência ao rolamento, MACHADO et al. (2013), avaliando trator com tração dianteira auxiliar encontrou valores entre 85,24% para a condição de solo natural e 78,87% para a condição de solo mobilizado, enquanto que para a utilização do trator motriz sem TDA, a eficiência de tração foi de 74,55%

para a condição de solo natural e 64,94% para a condição de solo mobilizado. Avaliando diferentes pressões de inflação em rodado simples e duplo Frantz (2011), achou valores entre 88 a 91% trabalhando com trator 4x2 TDA. Evidencia-se assim que os valores encontrados neste trabalho demonstram uma eficiência em tração em relação à resistência ao rolamento que proporciona um bom desempenho na operação.

2.3.10.2 Eficiência em tração em função da velocidade de deslocamento

Para a variável eficiência em tração, como pode se observado na Figura 22, houve diferença significativa entre os tratamentos.

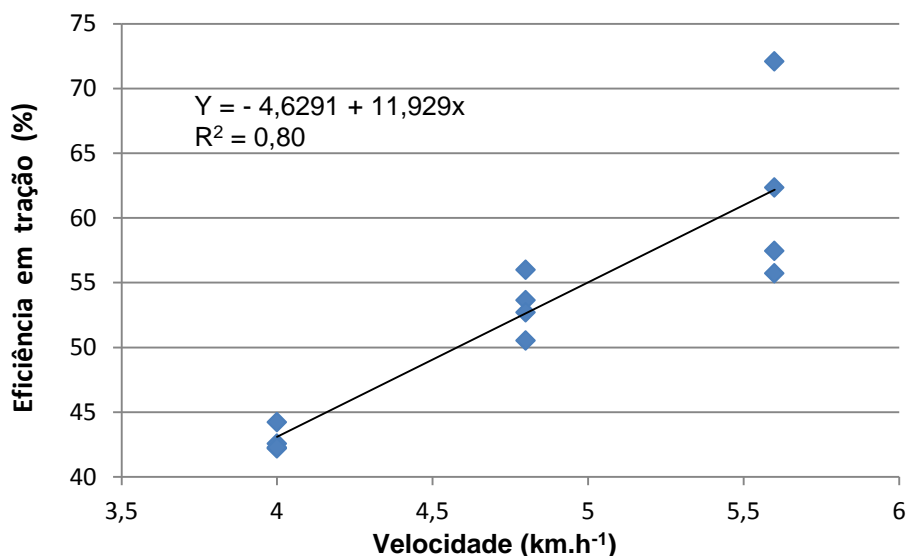


Figura 22 – Eficiência em tração nas diferentes velocidades de deslocamento.

Observando o gráfico da Figura 24, pode-se notar que à medida em que elevou a velocidade de deslocamento, ocorreu acréscimo, de forma linear, nos valores de eficiência em tração. Desta forma, a velocidade que proporcionou o menor valor de eficiência, foi a de 4 km.h⁻¹, com uma média de 42,8 % de eficiência

em tração, seguida da velocidade de 4,8 km.h⁻¹ e 5,6 km.h⁻¹, que proporcionaram 53,2% e 61,89%, respectivamente.

2.3.11 Coeficiente dinâmico de tração

De acordo com a análise de regressão, ocorreu diferença estatística entre os tratamentos, para a variável coeficiente dinâmico de tração (Figura 23).

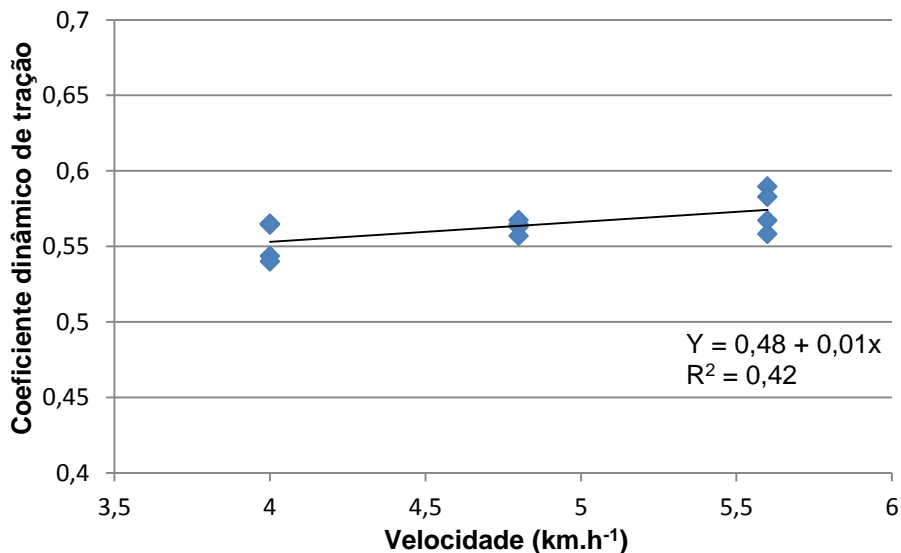


Figura 23 – Coeficiente dinâmico de tração para as diferentes velocidades de deslocamento.

A menor média para a variável coeficiente dinâmico de tração (0,553) foi na velocidade de 4 km.h⁻¹. Na velocidade de 4,8 km.h⁻¹ a média foi de 0,563 e, na velocidade mais alta (5,6 km.h⁻¹), a média foi de 0,574. Estes valores estão dentro dos valores descritos por Linares (2006) como sendo entre solo seco e solo úmido (Revisão Bibliográfica - Tabela 1).

2.3.12 Estande inicial e final de plantas

Os valores referentes ao estande inicial e final de plantas podem ser visualizados na Tabela 6.

Tabela 6 – Estande inicial de plantas (aos 15 dias após emergência) e estande final de plantas (no momento da colheita) por metro linear, para as três velocidades testadas.

Vel. (km.h ⁻¹)	Estande inicial	Estande final	Média
4,0	18,5 aA	18,6 aA	18,5 aA
4.8	18,0 aA	17,9 aA	17,9 aA
5.6	18,7 aA	17,4 aA	18,0 aA
MÉDIA	18,4	18,0	18,2
CV%			9,57

As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

A mudança de velocidade dentro dos limites testados não influenciou no estande de plantas. O estande inicial e o estande final de plantas também não apresenta diferença significativa, ao teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, sendo a média geral de 18,2 plantas por metro linear, ao espaçamento de 0,5m entre linhas. Isto significa que pode ser adotada a maior velocidade de deslocamento testada, sem prejuízo ao estande de plantas preconizado.

2.3.13 Distribuição longitudinal de plantas

Avaliando os dados referentes a distribuição longitudinal de plantas (Tabela 7), observa-se que a mudança na velocidade de deslocamento na operação de semeadura, ocasionou diferença significativa.

Tabela 7 – Distribuição longitudinal de plantas na linha, nas diferentes velocidades testadas.

Vel. (km.h ⁻¹)	Aceitável (%)	Duplo (%)	Falho (%)	TOTAL (%)
4,0	47,0 aA	26,5 aB	26,5 aB	100
4.8	41,0 abA	29,5 aB	29,5 aB	100
5.6	39,5 bA	29,25 aB	31,25 aB	100
MÉDIA	42,5 A	28,41 B	29,83 B	
CV%				10,87

As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A velocidade de 4 km.h⁻¹ foi a que proporcionou maior número de espaçamentos classificados como aceitáveis (47%). A velocidade de 4,8 km.h⁻¹ obteve 41% de espaçamentos aceitáveis, que não diferiu estatisticamente da melhor média, mas também não diferiu da pior. Já a velocidade de 5,6 km.h⁻¹ foi a que apresentou a pior média de espaçamentos aceitáveis (39,5%), diferindo da melhor.

Não ocorreu diferença significativa para os espaçamentos duplos e espaçamentos falhos, em função da velocidade de deslocamento na operação de semeadura, sendo suas médias 28,41% e 29,83%, respectivamente.

A semeadora analisada teve um baixo desempenho na distribuição espacial de sementes. Segundo Tourino et al., (1983), semeadoras com percentagem de espaçamentos aceitáveis de 90 a 100 são consideradas de ótimo desempenho; de 75 a 90, bom desempenho; de 50 a 75, desempenho regular; e abaixo de 50, insatisfatório.

2.3.14 Produtividade de grãos

Os valores referentes à produtividade de grãos em função da velocidade de deslocamento na operação de semeadura são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Produtividade de grãos em função da velocidade de semeadura.

Vel. (km.h ⁻¹)	Produtividade (kg.h ⁻¹)
4,0	4371,98 a
4.8	4383,57 a
5.6	4187,61 a
MÉDIA	4314,39
CV%	2,86

Não houve diferença significativa para a produtividade de grãos, em função das três velocidades de deslocamento testadas, sendo que a média geral do experimento foi de 4314,39 kg.h⁻¹.

Vários trabalhos citam que a velocidade contribui de maneira decisiva para a distribuição longitudinal das sementes no momento da semeadura (MANTOVANI et al., 1992; PACHECO et al., 1996; JUSTINO et al., 1998.). Porém, observa-se que, nem sempre, esse arranjo causa diminuição na produtividade de grãos da cultura em estudo. Embora a velocidade tenha influenciado na distribuição de plantas na linha, a magnitude dos tratamentos testados não foi suficiente para causar diferença significativa na produtividade de grãos.

2.4 Conclusões

A demanda de força de tração, consumo horário de combustível e o patinamento não demonstraram diferença significativa em função do aumento da velocidade de deslocamento.

Para o consumo específico de combustível, quanto maior a velocidade de deslocamento, menor foi o consumo.

Quanto maior a velocidade de deslocamento analisada, maiores foram os valores encontrados de potência útil na barra.

O estande inicial e o estande final de plantas não diferiram estatisticamente entre si, e não foram influenciados pela variação na velocidade de deslocamento na operação de semeadura.

O número de espaçamentos entre plantas considerado aceitável diminuiu a medida que se aumentou a velocidade de deslocamento na operação de semeadura. Porém, a produtividade de grãos não diferiu estatisticamente em função da mudança da velocidade de deslocamento dentro da magnitude testada na operação de semeadura.

3 CAPÍTULO 2:
DENSIDADE DE SEMEADURA DE SOJA EM FUNÇÃO DO RELEVO

3.1 Introdução

A soja é amplamente cultivada em vários países do mundo. Os principais produtores mundiais são Estados Unidos, Brasil, Argentina e China. No Brasil, as principais áreas produtoras estão nas regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste do País e correspondem a 49% da área cultivada com grãos no país. Os Estados do Paraná, Rio Grande do Sul, Mato Grosso e de Goiás são os principais produtores de soja do Brasil. A área semeada com esta cultura cresceu consideravelmente nas últimas décadas, passando de 1,3 milhões de hectares na década de 70, para uma área de aproximadamente 24,16 milhões de hectares na safra 2010/2011 (CONAB, 2012)

O aumento da produtividade se deve não apenas ao aumento da área cultivada, mas também, está associado aos avanços tecnológicos, ao manejo e eficiência dos produtores, fazendo com que a produtividade por área tenha aumentado consideravelmente nas últimas décadas. Em um mundo globalizado, a competitividade imposta ao setor produtivo, principalmente à agricultura, obriga o produtor a racionalizar o uso de insumos na lavoura, de forma a aumentar a produtividade e diminuir os custos de produção. Neste contexto, a agricultura de precisão (AP) tornou-se uma excelente alternativa de gerenciamento, pois leva em consideração a variabilidade espacial e temporal das áreas de cultivo (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002).

A AP, segundo a definição de Dobermann; Ping (2004) consiste em aplicar no local correto (espaço), no momento adequado (tempo), as quantidades de insumos necessários (quantidade) à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos o permitam.

Há alguns anos, pesquisas têm sinalizado e/ou considerado a variabilidade existente dentro da unidade de cultivo, buscando minimizar as variações através do gerenciamento localizado. Isso tem sido possível graças aos avanços das tecnologias, que possibilitaram o estudo da variabilidade espacial das propriedades do solo e a geração de mapas de produtividade georeferenciados. A geração desses mapas trás muitas informações importantes sobre a área de cultivo, sendo que, um grande desafio da agricultura de precisão, é o gerenciamento dessas informações e sua utilização nas tomadas de decisões por parte de técnicos e produtores.

A tecnologia existente hoje permite a utilização de taxas variáveis de adubo e semente durante a realização da semeadura. Muito já se estudou a respeito de densidade de semeadura em soja e, sabe-se que a utilização de população de plantas adequada a cada condição, melhora significativamente a produtividade das lavouras. Porém, poucos estudos foram realizados até o momento avaliando densidade de semeadura de soja em função do relevo da lavoura.

O tipo de relevo afeta a redistribuição de água e sedimentos na paisagem (SANTOS et al., 2002), o que também pode influenciar na disponibilidade hídrica dentro da lavoura. A maior parte dos sedimentos e nutrientes removidos das encostas é redistribuída para as várzeas, podendo contribuir para aumento na fertilidade dos solos dessas últimas (GALVÃO et al., 2005).

Para Carvalho et al. (2003), a variabilidade espacial nos atributos do solo pode ser influenciada pelos seus fatores intrínsecos (fatores de formação, que são o material de origem, relevo, clima, organismos e tempo) e pelos fatores extrínsecos, normalmente relacionados com as práticas de manejo. Usualmente, uma forte dependência espacial nos atributos do solo é atribuída aos fatores intrínsecos (CAMBARDELLA et al., 1994).

Em uma área de lavoura, com histórico de vários anos de agricultura de precisão, a variabilidade espacial de fatores químicos é minimizada, porém outros fatores influenciam no potencial produtivo das culturas.

Visando observar se a variável relevo possui influência no potencial produtivo na cultura da soja e, se é possível adaptar a densidade de semeadura em função do relevo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) das cultivares de soja BMX Ativa RR e Igra RA 626 RR, semeadas em diferentes locais de relevo (área de baixada, encosta e topo) com cinco diferentes densidades de semeadura (150, 250, 350, 450 e 550 mil plantas. ha^{-1}).

3.2 Material e Métodos

Foram utilizadas duas cultivares de soja (Igra RA 626 RR e BMX ATIVA RR) em três zonas de relevo distinto (topo, encosta e baixada), em cinco densidades de semeadura (150, 250, 350, 450 e 550 mil plantas. ha^{-1}). O experimento foi instalado

em área onde se pratica o sistema plantio direto, irrigada por pivô central, e manejada com técnicas de agricultura de precisão desde o ano de 2006, que objetivam minimizar diferenças de fertilidade do solo, deixando toda a área com nível de fertilidade alto, a ponto de não ser limitante a expressão do máximo potencial produtivo pelas culturas.

3.2.1 Caracterização do local do experimento

O experimento foi conduzido na Granja Limburgia, pertencente a Sementes Van Ass, latitude $28^{\circ}01'42''$ Sul e longitude $53^{\circ}33'15''$ Oeste, com altitude média aproximada de 530 m, na localidade de Esquina Beck, município de Palmeira das Missões, RS (Figura 1).



Figura 1 – Vista da área experimental, gerada pelo software Google Earth.

Fonte: Google Earth

O relevo é plano a suavemente ondulado, com solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico Típico (EMBRAPA, 1999). O clima da região, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo Cfa subtropical. A temperatura média normal do mês mais quente ocorre em janeiro ($24,6^{\circ}\text{C}$) e a do mês mais frio em junho ($12,9^{\circ}\text{C}$). A média normal das máximas é de $30,4^{\circ}\text{C}$, em janeiro, e de $19,2^{\circ}\text{C}$, em junho. A média das temperaturas mínimas do mês mais quente é de $18,7^{\circ}\text{C}$, em dezembro, e de $9,3^{\circ}\text{C}$ a do mês mais frio, em junho. As chuvas são distribuídas regularmente em praticamente todos os meses do ano, sem estação seca definida, com precipitação entre 1.500 mm a 1.750 mm. A Figura 2 mostra o mapa planialtimétrico da área.

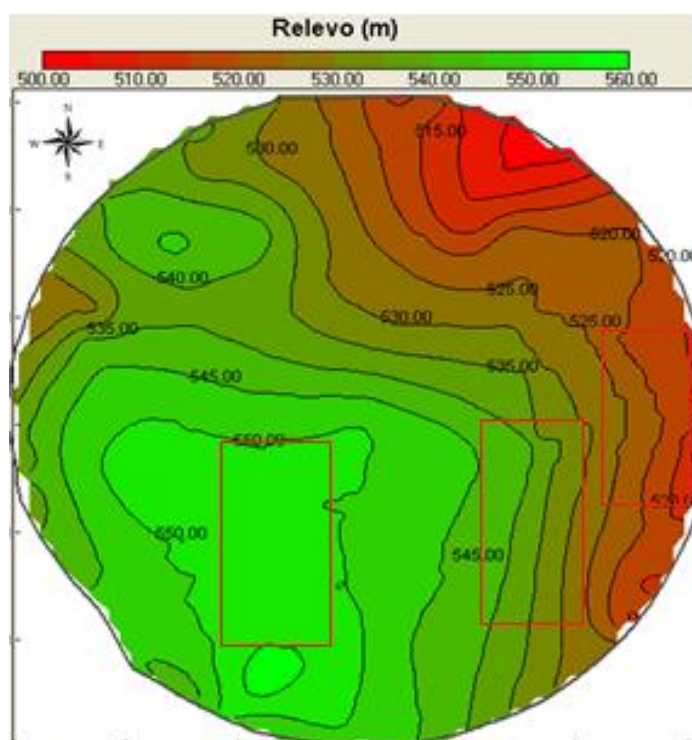


Figura 2 – Mapa planialtimétrico da área experimental.

Fonte: DRAKKAR Solos

3.2.2 Semeadora utilizada no experimento

Foi utilizada uma semeadora-adubadora da marca Stara, modelo TOP Control 5400 (Figura 3), com caixa de sementes suspensas, sendo originalmente de 14

linhas, porém, foram retiradas 3 linhas para atingir o espaçamento desejado de 0,5 m. Cada linha de semeadura foi composta de: um mecanismo dosador do tipo pneumático, um disco de borda lisa, com 18", para o corte da palhada; um sulcador de haste para a deposição do adubo no solo; um sulcador de disco duplo para sementes e de rodas controladoras da profundidade de semeadura e de fechamento e compactação do sulco. O peso da semeadora vazia era de 6600 kg, onde foram adicionados 1500 kg de adubo e 700 kg de sementes, passando a semeadora carregada a ter um peso de 8800 kg.

O acionamento dos mecanismos dosadores de sementes e adubo era feito por motores hidráulicos acionados por bombas hidráulicas acopladas a tomada de potência do trator (TDP), podendo variar a dose aplicada, aumentando ou diminuindo a vazão, através dos motores hidráulicos. O sistema pneumático de deposição de sementes também era acionado pela TDP.

A regulagem feita no equipamento foi para aplicar as taxas fixas de 100 kg de adubo ha^{-1} e variar as sementes por metro linear em função do mapa de aplicação, a uma profundidade de 4 cm.



Figura 3 – Semeadora Victória Top Control 5400 utilizada no experimento.

3.2.3 Avaliações

As densidades de semeadura avaliadas foram 150, 250, 350, 450 e 550 mil sementes ha^{-1} . Cada parcela tinham 50 metros de comprimento e 11 metros de largura (duas passadas da semeadora de 11 linhas, espaçadas 0,5 m entre linhas). Foram avaliadas quatro repetições de cada tratamento.

Para a obtenção de populações de plantas semelhantes às densidades de semeaduras propostas no trabalho, cada cultivar foi submetida ao teste padrão de germinação e, a densidade de semeadura foi corrigida de acordo com o poder germinativo das sementes acrescido de 5% para atingir as densidades desejadas. A semeadura foi realizada com semeadora de precisão do tipo pneumática e com sistema de taxa variável de sementes. As sementes foram grafitadas e tratadas com inoculante comercial turfoso, de acordo com as recomendações do fabricante. Foram realizados tratamentos fitossanitários na área sempre que necessário, visando minimizar a influência dos mesmos. O experimento foi semeado no dia 3 de novembro de 2011 e colhido nos dias 21 de março de 2012 (cultivar BMX ATIVA RR) e 17 de abril (Igra RA 626 RR).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas e quatro repetições, sendo local do relevo na parcela principal, cultivares nas subparcelas e densidade de semeadura nas subsubparcelas. A análise estatística dos resultados foi realizada através de análise da variância para verificar a significância da interação e dos efeitos principais e da interação entre os fatores (STORCK *et al.*, 2004). Nas análises complementares os tratamentos qualitativos foram submetidos aos testes de médias e, para os quantitativos foram realizadas as análises de regressões utilizando o método dos polinômios ortogonais para obter-se o ajuste das equações, com auxílio do programa de análises estatísticas ASSISTAT, Versão 7.6 beta (2013).

Foram realizadas as seguintes avaliações:

- Emergência de plantas aos 15 dias após a semeadura (estande inicial de plantas);
- Umidade do solo durante o ciclo da cultura (aproximadamente a cada 15 dias);

- Estande final de plantas (avaliado na maturação fisiológica);
- Produtividade de grãos (avaliado no fim do ciclo).

3.2.3.1 Emergência e estande final de plantas

Para a avaliação da germinação e estande final de plantas foram contadas as plantas em 4 metros lineares e 4 repetições em linhas aleatórias dentro da parcela. Posteriormente os dados foram transformados em plantas por metro. Foram consideradas para o estande inicial de plantas as que apresentaram pelo menos os cotilédones emergidos do solo.

3.2.3.2 Umidade do solo

Para a determinação da umidade do solo, foram coletadas três amostras de aproximadamente 200g cada, por tratamento, na profundidade de 0 a 40 cm, utilizando trado de rosca. Foram coletadas amostras a cada 15 dias. Após a coleta as amostras foram homogeneizadas para posterior determinação de umidade pelo método gravimétrico. Neste método foi utilizada uma estufa, ventilada e aquecida eletricamente à temperatura de 105°C a 110°C até peso constante (KLAR et al.,1966) . Foram realizadas as pesagens em balança com precisão de 0,01g, antes e depois das secagens.

3.2.3.3 Produtividade

Para análise da produtividade de grãos, foram coletadas as plantas de duas linhas de 5 metros da área útil da parcela, com quatro repetições. As plantas foram colhidas e, posteriormente, trilhadas em trilhadeira estacionária. Após a limpeza dos grãos, os mesmos foram pesados, com posterior determinação do teor de umidade.

Após estes procedimentos, os dados foram corrigidos a 13% de umidade e então transformados na unidade de kg ha^{-1} .

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Estande de plantas

A população média inicial e final de plantas, para cada densidade de semeadura pode ser observada na Tabela 1. A população de plantas variou para cada densidade de semeadura, ficando próximo das estipuladas.

Tabela 1 – Média da população inicial e final de plantas (plantas por metro linear), de duas cultivares de soja, em cinco densidades de semeadura.

Densidade de semeadura preconizada (sementes.ha^{-1})	População inicial de plantas (plantas.ha^{-1})	População final de plantas (plantas.ha^{-1})
150.000	167.400 eA	139.000 eA
250.000	254.000 dA	211.000 dA
350.000	348.200 cA	299.200 cA
450.000	428.200 bA	387.200 bA
550.000	538.200 aA	459.000 aB
Média	347.200 A	299.120 A
CV%		10,47

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Embora possa ser observado que ocorreu uma tendência a reduzir o estande final de plantas em relação ao inicial, o teste de comparação de médias evidenciou diferença significativa apenas para a população de $550.000 \text{ plantas.ha}^{-1}$. A média do estande inicial não diferiu da média do estande final de plantas.

Analisando os estandes de plantas para os diferentes locais do relevo (Tabela 2), não foi observada diferença significativa entre as médias gerais de cada local.

Tabela 2 – Média da população de plantas (plantas por metro linear), em três locais do relevo (topo, encosta e baixada) e em cinco densidade de semeadura.

Plantas.ha ⁻¹	Topo	Encosta	Baixada	Média
150.000	7,64 eA	7,48 eA	7,12 eA	7,41 e
250.000	10,49 dA	11,67 dA	11,50 dA	11,22 d
350.000	15,67 cA	16,04 cA	15,97 cA	15,90 c
450.000	19,84 bA	19,59 bA	19,80 bA	19,74 b
550.000	23,18 aB	23,26 aB	25,29 aA	23,91 a
Média	15,36	15,61	15,94	
CV%				11,29

Médias não seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Analisando o comportamento de cada densidade de semeadura em cada local do terreno, isoladamente, observa-se que na densidade de semeadura de 550.000 plantas.ha⁻¹ ocorreu diferença significativa entre a baixada (maior população de plantas), com 25,29 plantas por metro linear, e a encosta e o topo, que não diferiram entre si, com 23,26 e 23,18 plantas por metro linear, respectivamente. As demais médias de população de plantas e locais do relevo não diferiram estatisticamente entre si.

3.3.2 Umidade do solo durante o ciclo da cultura

Foram realizadas determinações de umidade do solo, em cada parcela, durante todo o ciclo da cultura. Estes dados são diretamente influenciados pelo regime de chuvas e pelas irrigações. Os dados referentes as chuvas no período e as irrigações realizadas na área podem ser visualizados nos Apêndice C e Apêndice D, respectivamente. Já os resultados de umidade do solo durante o ciclo da cultura, em

cada parcela (referente a local do terreno, cultivar e densidade de semeadura), podem ser observados abaixo (Figura 4, Figura 5 e Figura 6).

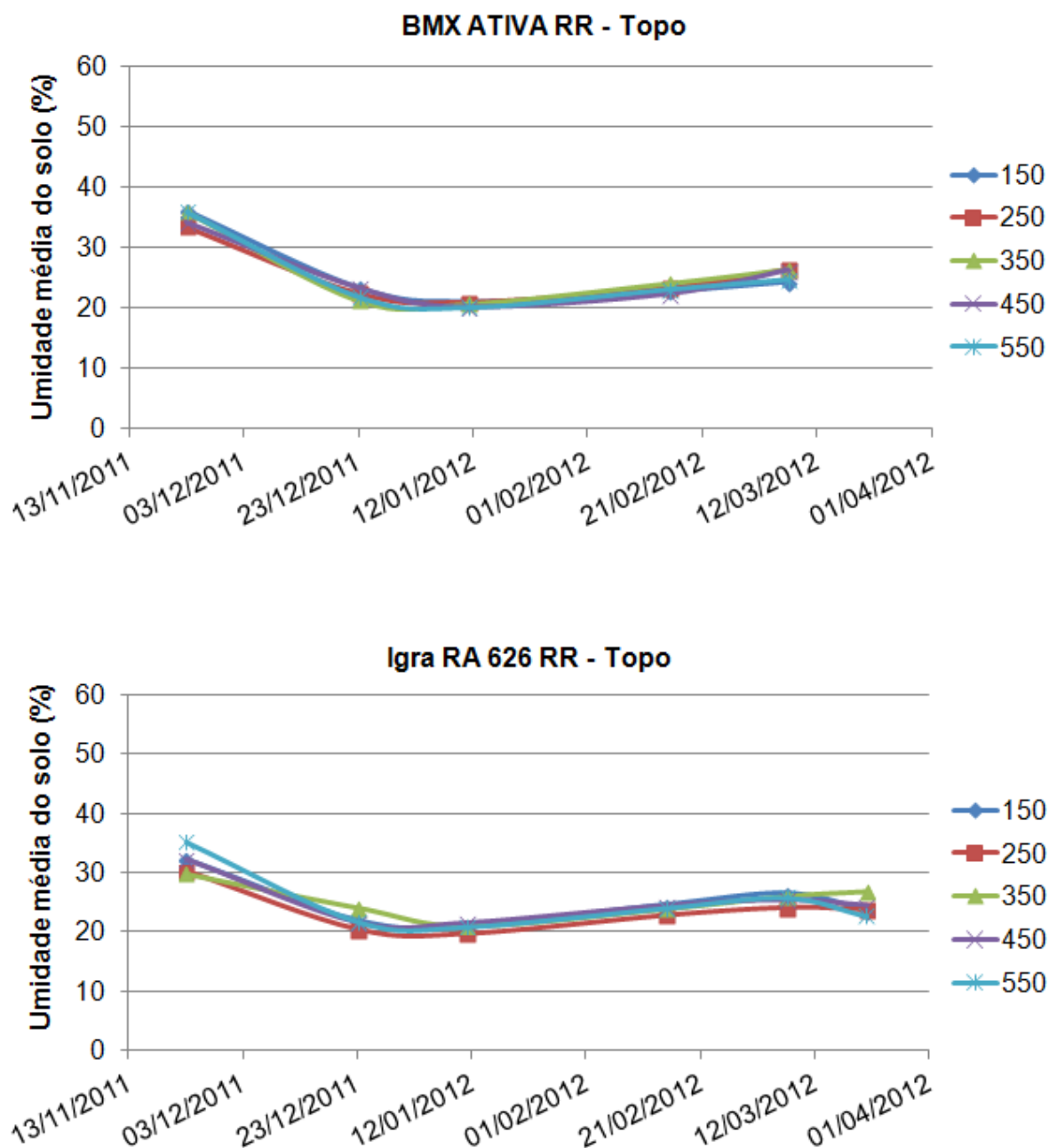


Figura 4 – Umidade média do solo (em %) durante o ciclo da cultura, para as cultivares de soja BMX Ativa RR e Igra RA 626 RR, cultivadas em diferentes densidades de semeadura ($\text{mil plantas}\cdot\text{ha}^{-1}$), na região de topo do terreno, em área irrigada pelo sistema de pivô central.

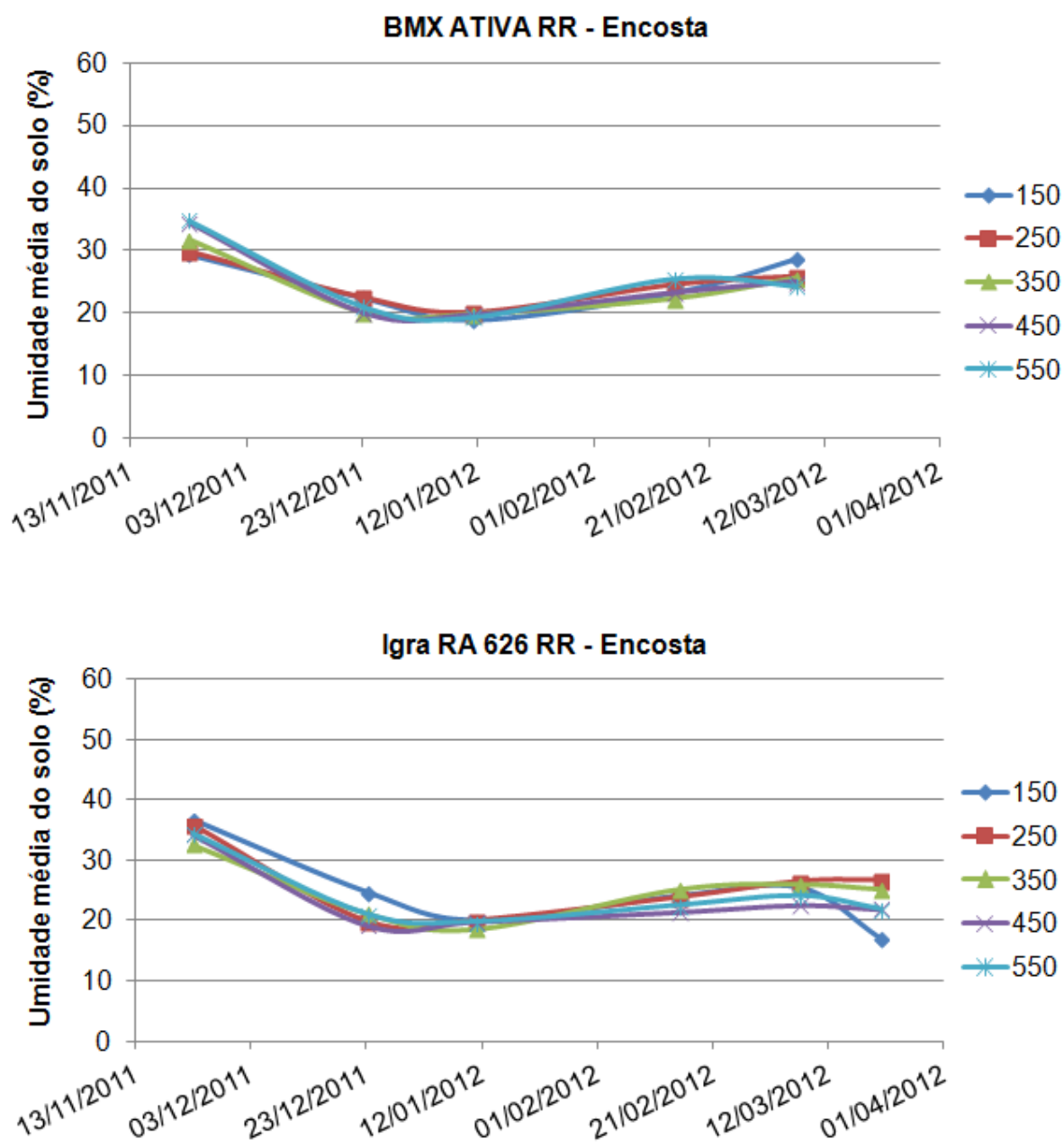


Figura 5 – Umidade média do solo (em %) durante o ciclo da cultura, para as cultivares de soja BMX Ativa RR e Igra RA 626 RR, cultivadas em diferentes densidades de semeadura ($\text{mil plantas.ha}^{-1}$), na região da encosta do terreno, em área irrigada pelo sistema de pivô central.

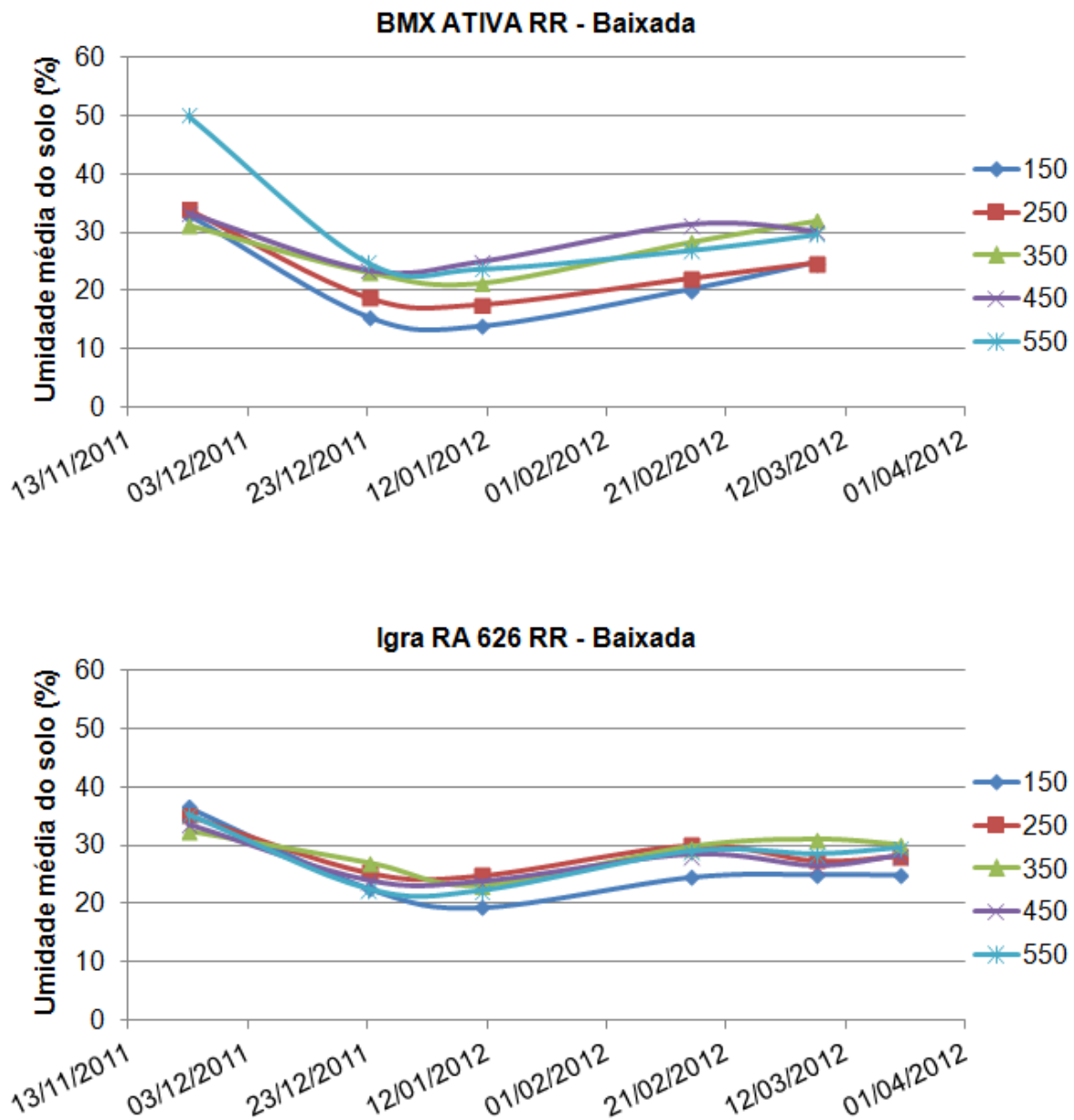


Figura 6 – Umidade média do solo (em %) durante o ciclo da cultura, para as cultivares de soja BMX Ativa RR e Igra RA 626 RR, cultivadas em diferentes densidades de semeadura (mil plantas.ha⁻¹), na região da encosta do terreno, em área irrigada pelo sistema de pivô central.

Não ocorreu interação entre os fatores local do relevo, cultivar e densidade de semeadura, para a variável analisada. Analisando isoladamente os fatores, não foi encontrada diferença significativa entre as diferentes densidades de semeadura,

para o fator umidade do solo, sendo que a média geral (de todas as épocas) foi de 23,3%.

Quando analisado a umidade do solo em função das cultivares de soja, apenas na área da baixada ocorreu diferença estatística entre as cultivares, ocasionando também diferença entre as médias gerais das duas cultivares. A média geral da cultivar Igra RA 626 RR foi maior quando comparadas com a média das áreas onde foi cultivada a BMX ATIVA RR (Tabela 3).

Tabela 3 – Umidade média do solo (em %) durante o ciclo da cultura, para as cultivares de soja BMX Ativa RR e Igra RA 626 RR, cultivadas em três locais do relevo (topo, encosta e baixada).

Local do relevo	Cultivares		
	BMX ATIVA RR	Igra RA 626 RR	Média
Topo	22,94 abA	23,36 bA	23,15 b
Encosta	22,62 bA	22,33 cA	22,47 b
Baixada	23,87 aB	26,23 aA	25,05 a
Média	23,14 B	23,97A	
CV%			5,5

Médias não seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

O local do relevo classificado como baixada proporcionou maiores valores de umidade do solo, com a média diferindo significativamente das áreas da encosta e do topo, que não diferiram estatisticamente entre si. Esse resultado é de certa forma esperado, entre outros fatores, devido a drenagem natural em função da gravidade, que proporciona o escoamento das águas para os locais mais baixos do terreno.

3.3.3 Produtividade de grãos

Na variável produtividade, com relação ao relevo (Tabela 4), o local do topo da coxilha apresentou a maior média, não diferindo estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%, da área da encosta. A área da baixada foi a que apresentou média mais baixa para essa variável.

Tabela 4 – Produtividade média ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) nos três locais do relevo.

Média locais do relevo ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)		
Topo	4762,92	a
Encosta	4729,55	a
Baixada	4242,50	b
Média	4578,32	cv = 10,37 %

Médias não seguidas pela mesma letra diferem entre si a 5% de probabilidade de erro.

Neste caso, deve-se lembrar que este experimento foi realizado em área irrigada e com histórico de agricultura de precisão. Portanto, a disponibilidade hídrica e nutricional não deveriam ser fatores limitantes. Quando as condições hídricas e a disponibilidade de nutrientes não são limitantes, a produção de fitomassa é influenciada por outros fatores, os quais podem sofrer influencia do relevo.

Com relação a produtividade de grãos das cultivares (Tabela 5), a cultivar Igra RA 626 RR produziu mais do que a cultivar BMX ATIVA RR, diferindo estatisticamente, ao teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 5 – Produtividade média geral (kg.ha⁻¹) das duas cultivares testadas.

Médias das cultivares (kg.ha ⁻¹)		
BMX Ativa RR	4076.98	b
Igra RA 626 RR	5079.66	a
Média	4578,32	cv = 13,83 %

Médias não seguidas pela mesma letra diferem entre si a 5% de probabilidade de erro.

Cultivares diferentes tem potenciais produtivos diferentes. A cultivar BMX Ativa RR possui porte baixo, hábito de crescimento determinado, pertencente ao grupo de maturação 5,6, com alta exigência em relação à fertilidade e com semeadura recomendada para o mês de novembro. A população de plantas recomendada é entre 300 e 350 mil plantas.ha⁻¹ (BRASMAXGENETICA, 2012). Já a cultivar Igra RA 626 RR possui porte médio (93 cm), hábito de crescimento indeterminado, pertencente ao grupo de maturação 5,7, exigência a fertilidade considerada média/alta, e com semeadura recomendada para o início do mês de outubro (IGRASEMENTES, 2012; Van Ass Sementes, 2012).

Como ocorreu diferença significativa para a variável produtividade de grãos em função do relevo e em função das cultivares, realizou-se regressão polinomial para as diferentes densidades de semeadura testadas (Figuras 4, 5, 6, 7, 8 e 9).

Dutra et al. (2007), realizaram levantamento de resultados de pesquisa sobre população de plantas em soja e, observaram que o efeito do genótipo influencia diretamente na resposta a diferentes populações, tendo cultivares que aumentam a produtividade com o aumento na população de plantas, outras que mantêm a produtividade estável e algumas cultivares reduzem sua produtividade com o aumento da população de plantas.

Na área referente ao topo (Figura 7), a cultivar BMX Ativa RR atingiu as maiores produtividades em densidade de semeadura próxima a 250 mil plantas.ha⁻¹.

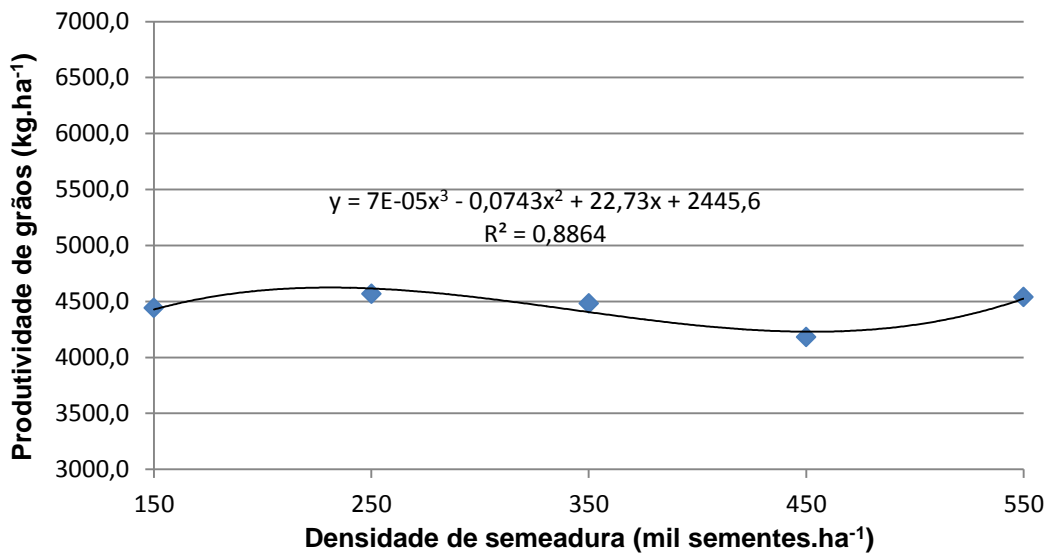


Figura 7 – Produtividade média de grãos da cultivar de soja BMX Ativa RR em diferentes densidades de semeadura, na região de topo, em área irrigada.

Avaliando o comportamento da mesma cultivar na área da encosta (Figura 8), onde as condições gerais tendem a ser um pouco diferentes das encontradas no topo, a curva de tendência sofre um deslocamento e, encontrou-se assim melhor resultado com populações um pouco mais altas, em torno de 350 a 400 mil plantas.ha⁻¹.

Já para a área da baixada (Figura 9), a média geral da cultivar BMX Ativa RR foi mais baixa que as duas condições anteriormente citadas, sendo que, nessa condição de relevo, de acordo com a linha de tendência, a cultivar apresentou melhores resultados nas populações próximas a 200 e a 550 mil plantas.ha⁻¹.

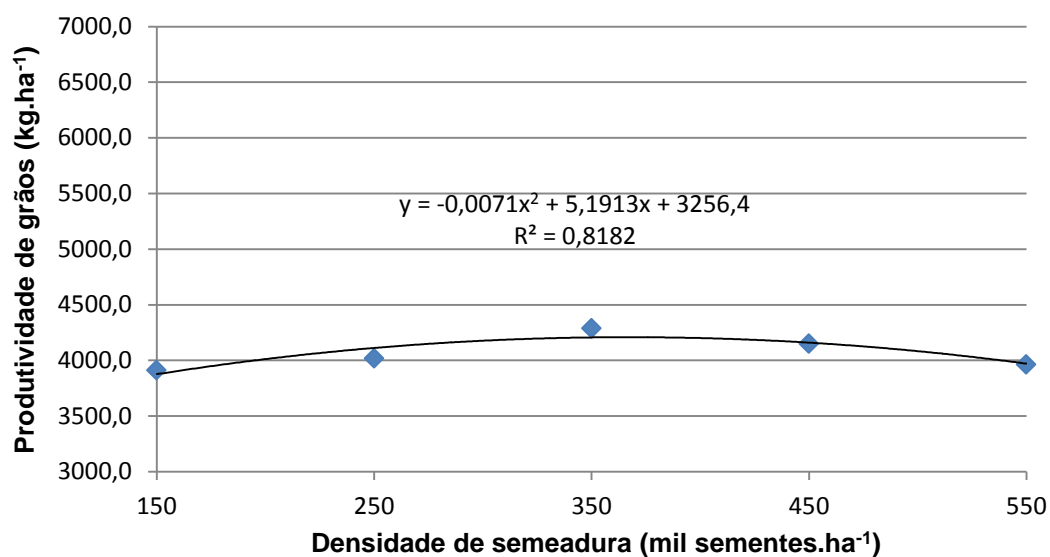


Figura 8 – Produtividade média de grãos da cultivar de soja BMX Ativa RR em diferentes densidades de semeadura, na região de encosta, em área irrigada.

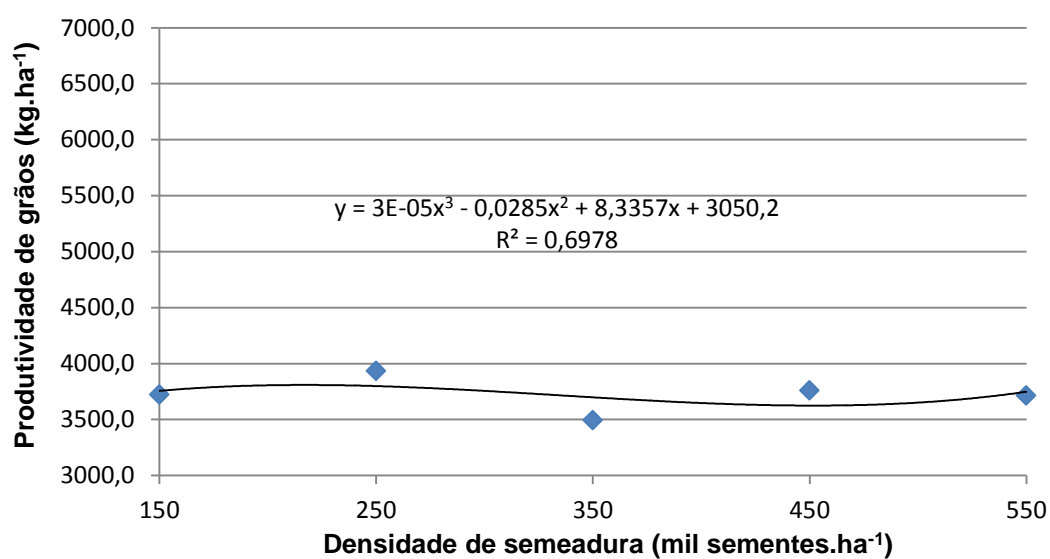


Figura 9 – Produtividade média de grãos da cultivar de soja BMX Ativa RR em diferentes densidades de semeadura, na região de baixada, em área irrigada.

A cultivar Igra RA 626 RR apresentou média de produtividade de grãos, superior a cultivar BMX Ativa RR. Na área do Topo, a cultivar produziu melhor em populações baixas, próximas a 150 mil plantas.ha⁻¹.

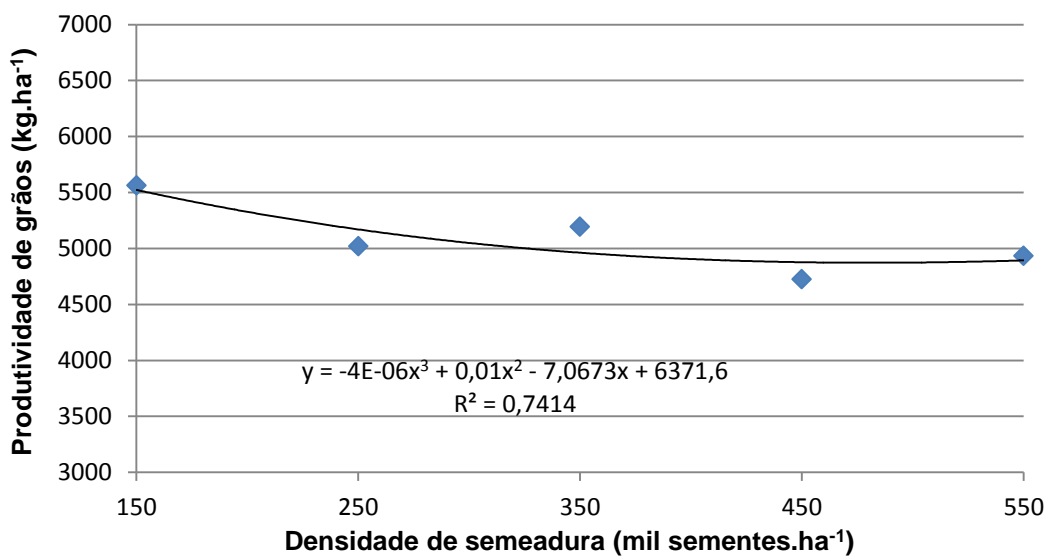


Figura 10 – Produtividade média de grãos da cultivar de soja Igra RA 626 RR, em diferentes densidades de semeadura, na região de topo, em área irrigada.

Já para a área da encosta (Figura 11), a cultivar Igra RA 626 RR apresentou maiores produtividades nas populações entre 200 e 250 mil plantas.ha⁻¹.

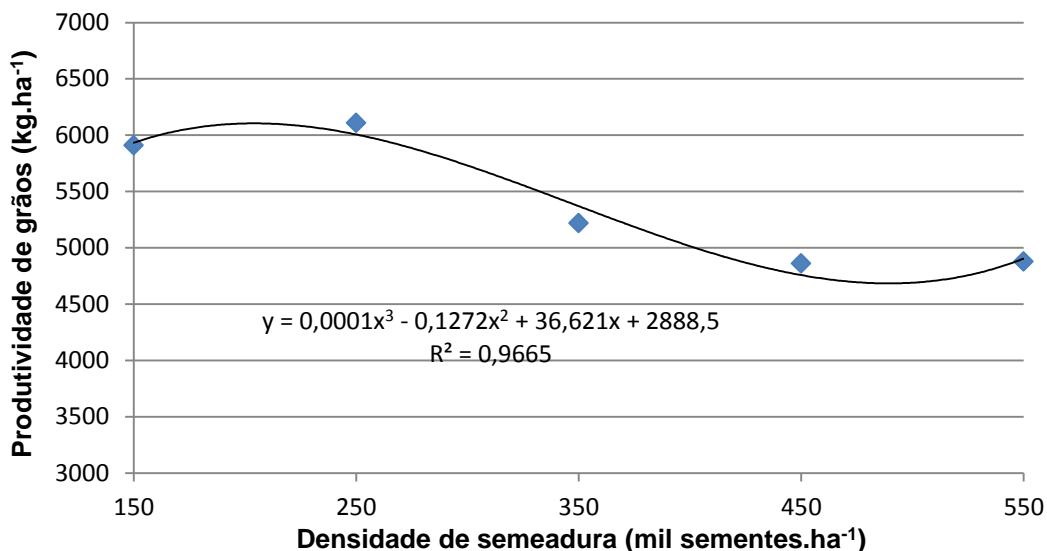


Figura 11 – Produtividade média de grãos da cultivar de soja Igra RA 626 RR, em diferentes densidades de semeadura, na região da encosta, em área irrigada.

Na área da baixada (Figura 12), onde as condições hídricas e nutricionais tendem a ser diferente das demais, as maiores produtividades para a cultivar Igra RA 626 RR, ficaram situados nas populações próximas a 400 mil plantas.ha⁻¹.

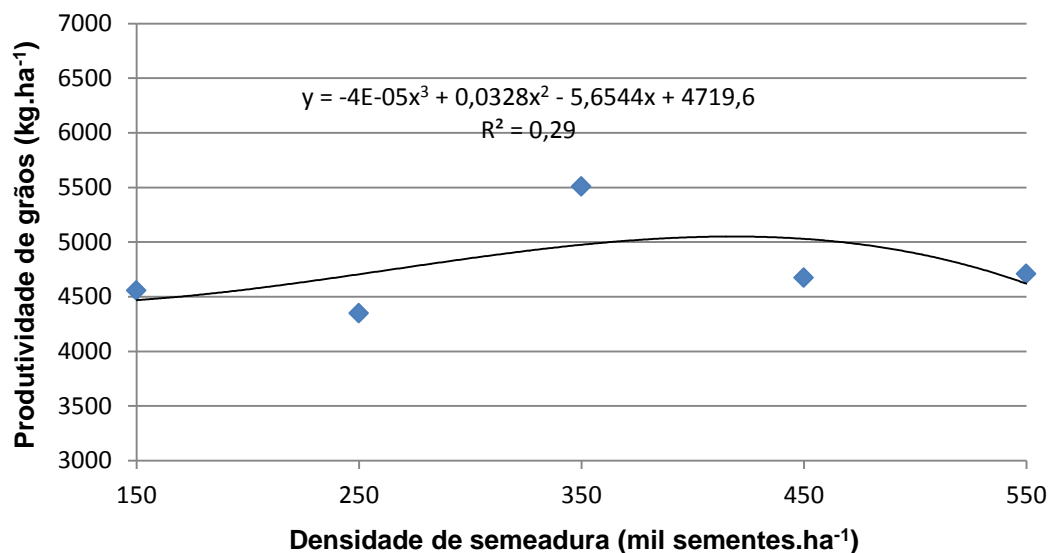


Figura 12 – Produtividade média de grãos da cultivar de soja Igra RA 626 RR, em diferentes densidades de semeadura, na região da baixada, em área irrigada.

3.4 Conclusões

A umidade do solo durante o ciclo da cultura diferiu em função das cultivares testadas e em relação ao local do relevo. Porém, não sofreu influência das densidades de semeadura testadas.

A produtividade de grãos variou em função das cultivares testadas e dos locais do relevo. Sendo que a densidade de semeadura que apresentou o máximo potencial produtivo variou para cada local do relevo

De acordo com este trabalho, deve-se pensar em ajustar a densidade de semeadura não apenas em função de cada cultivar, mas também em função do relevo, visando maximizar a produtividade de grãos por área.

O relevo pode ser usado como fator na tomada de decisão, referente ao uso de taxa variável de sementes, na semeadura da soja, desde que se conheça o comportamento da cultivar. Porém, outros experimentos semelhantes deverão ser realizados, visando confirmar estes comportamentos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE D497.2:** agricultural machinery management data. 42th ed. St. Joseph: ASAE, 1995. p. 373-380.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE D497.4:** agricultural machinery management data. San Joseph: ASAE, 1999. p. 359-366

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE EP 496.2 FEB03:** Standards: standards engineering practices data. St. Joseph: ASAE, 2003. p. 366-372.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE S296.5 DEC03:** General Terminology for Traction of Agricultural Traction and Transport Devices and Vehicles. St. Joseph, p. 119-122, 2003.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Terminology for soil-engaging components for conservation tillage planters, drills and seeders.** In: _____. *ASAE Standards 1996: Standards Engineering Practices Data*, St. Joseph, 1996. p.309-14.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE Standards 296.3: Uniform terminology of agricultural tractors, self-propelled implements, and other traction and transport device.** USA, 1995. p.119-121.

ARAÚJO, A. G.; CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R. **Mecanização do plantio direto: problemas e soluções.** IAPAR: Informe da pesquisa. nº 137. 2001. 18p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de Norma 04: 015.06-004: Semeadora de precisão – ensaio de laboratório – método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1994. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de norma 12.02.06-004 – Semeadoras de precisão – Ensaio de Laboratório.** São Paulo. Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e qualidade industrial, 1989, 21p.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas.** 2 ed. São Paulo: Manole, 2005. 310 p.

BALASTREIRE, L. A. **O estudo da arte da Agricultura de Precisão no Brasil**. Piracicaba, 2000. 224p.

BALASTREIRE, L. A.; ELIAS, I. A.; AMARAL, J. R. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade da cultura do milho. **Engenharia Rural**, n. 8, p. 97-111, 1997.

BALASTREIRE, Luiz Antônio. **Máquinas Agrícolas**. São Paulo: Editora Manole LTDA, 1987, 307p.

BELLÉ, G. L.. **Agricultura de precisão**: manejo da fertilidade com aplicação a taxa variada de fertilizantes e sua relação com a produtividade de culturas. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, , Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, santa Maria - RS, 2009.

BIANCHINI, A., **Trator Agrícola**. Apostila didática. Cuiabá – novembro/2002. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAacq0AL/trator-maquinas-agricolas>>, acesso em: 06/09/2012.

BORTOLOTTO, V. C., NETO, R. P., BORTOLOTTO, M. C. Demanda energética de uma semeadora-adubadora para soja sob diferentes velocidades de deslocamento e coberturas do solo. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 122-130, 2006.

BRANQUINHO, Klinger B. et al . Desempenho de uma semeadora-adubadora direta, em função da velocidade de deslocamento e do tipo de manejo da biomassa da cultura de cobertura do solo. **Eng. Agríc.**, Botucatu, v. 24, n. 2, Aug. 2004.

BRASMAXGENETICA. **BMX Ativa RR**. Disponível em: <http://www.brasmaxgenetica.com.br/frontend2/html/cultivar_ativa.php>. Acesso em: 19/05/2012.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F. & KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Sc. Soc. Am. J.**, 58:1501-1511, 1994.

CARBONELL, S. A. M. **Metodologia para seleção de genótipos de soja com semente resistente ao dano mecânico**. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual de Londrina, 1991. Londrina. 1991.

CARVALHO, M. P.; TAKEDA E. Y. & FREDDI, O. S. **Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP)**. R. Bras. Ci. Solo, 27:695-703, 2003.

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

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira**. Abril de 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_04_07_11_02_42_boletim_abril-2011..pdf> Acesso em: 04/09/2012.

CORREA, I. M.; YANAI, K.; MAZIERO, J. V. G.; LANÇAS, K. P. Determinação da circunferência de rolamento de pneus agrícolas utilizando dois métodos: manual e eletrônico. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 179-184, 1999. COMPANHIA

CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; LOPES, A. Distribuição longitudinal de sementes de soja e características físicas do solo no plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 502-510, 2006.

DIAS, O. V.; ALONÇO, A. S.; BAUMHARDT, U. B.; BONOTTO, J. G. Distribuição de sementes de milho e soja em função da velocidade e densidade de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1.721-1.728, 2009.

DE COBO, L. B. D. **Selección y dimensionamiento de la maquinaria agrícola – en función de la potencia y condiciones de trabajo**. Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile.

DOBERMANN, A.; PING, J. L. Geoestatistical integration of yield monitor data and remote sensing improves yield maps. **Agronomy Journal**, v. 96, n. 1, p. 285-297, 2004.

DUTRA, L. M. C.; et al. População de plantas em soja. In. REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 35, 2007, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2007, p. 95.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Soja em números (safra 2010/2011)**. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?cod_pai=2&op_page=294> acesso em: 24/07/2012

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 1.ed. Brasília, Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1999. 412p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, M. F. **Estudo da relação cinemática entre eixos motrizes na eficiência em tração de um trator agrícola de rodas equipado com dois tipos de pneumáticos**. 126p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, 1999.

FLOR, Ebert Pepe Obando et al. Avaliação de danos mecânicos em sementes de soja por meio da análise de imagens. **Rev. bras. sementes**, Pelotas, v. 26, n. 1, 2004.

FRAGA, V. S. & SALCEDO, I. H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 68:215-224, 2004.

FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A. **Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de soja**. Londrina: EMBRAPA – CNPSo, 1984. 39p. (Circular Técnica).

FRANTZ, U. G. **Análise de desempenho em tração de rodado simples e duplo em um trator agrícola**. 2011. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS.

FURLANI, C. E. A. et al. Avaliação do desempenho de uma semeadora-adubadora em função da velocidade de deslocamento e carga no depósito de fertilizante. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 14, n. 4, 268-275, out./dez. 2006.

FURLANI, C. E. A. et al. Características da cultura do milho (*Zea mays L.*) em função do tipo de preparo do solo e da velocidade de semeadura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.19, n.2, p.177-186, 1999.

GABRIEL FILHO, A.; SILVA, S. De L.; MODOLO, A. J.; DA SILVEIRA, J. C. M. Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 781-789, set./dez. 2004.

GABRIEL FILHO, A.; LANÇAS, K. P.; LEITE, F.; ACOSTA, J. J. B.; JESUINO, P. R. Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 14, n. 3, Mar. 2010.

GALVÃO, S. R. S.; SALCEDO, I. H.; SANTOS, A. C. Frações de carbono e nitrogênio em função da textura, do relevo e do uso do solo na microbacia do agreste em Vaca Brava (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 955-962, 2005.

GARCIA, R. F. **Tratores agrícolas**. Universidade Estadual do Norte Fluminense. Laboratório de Engenharia Agrícola. Disponível em: <http://www.garcia.xpg.com.br/aula01_tratores.pdf>. Acesso em: 14/09/2013.

GAUDÊNCIO, C. et al. População de plantas de soja no sistema de semeadura direta para o centro-sul do Estado do Paraná. **Comunicado Técnico do Centro Nacional de Pesquisa de Soja**, n. 47, p. 1-4, 1990.

GEE-CLOUGH, D.; MCALLISTER, M.; EVERNDEN, D. W. Tractive performance of tractor drive tyres, II. A Comparison of Radial and Cross-ply Carcass Construction. **Journal of Agricultural Engineering Research**, 22: 373-384, 1977

IGRA SEMENTES. **Igra RA 626 RR**. Disponível em: <http://www.igrasementes.com/index.php?option=com_content&view=article&id=13&Itemid=15>. Acesso em: 08/09/2012.

JENANE, C.; BASHFORD, L. L.; MONROE, G. Reduction of fuel consumption through improved tractive performance. **Journal of Agricultural Engineering Research**. Silsoe, v. 64, p. 131-138, 1996.

JUSTINO, A.; WEIRICH NETO, P. H.; SANTOS, S. R. Análise da distribuição de sementes do conjunto de sete híbridos de milho (*Zea mays* L.) e sete discos horizontais perfurados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p. 286-8.

KEPNER, R. A. Et al. **Principles of farm machinery**. 3.ed. Westport: Avi, 1982. 527p.

KLAR, A. E. et al. Determinação da umidade do solo pelo método das pesagens. An. **Esc. Sup. Agric. Luíz de Queiroz**, Piracicaba, 1966.

KLEIN, V. A. Plantadoras: velocidade e qualidade. **Cultivar Máquinas**, v. 3, n. 16, p. 26-28, 2003.

KNOB, M. J.. **Estudo de trafegabilidade aplicado a Veículos de roda em transporte e tração**. 2010. 153 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

KURACHI, S. A. H.; COSTA, J. A. S.; BERNARDI, J. A.; COELHO, J. L. D.; SILVEIRA, G. M. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantia**, Campinas, v. 48, n. 2, p. 249-262, 1989.

LINARES, P.; CATALÁN, H.; MÉNDEZ, V. **Teoría de la tracción de tractores agrícolas**. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 215p. Madrid, 2006.

LOPES, A.; LANÇAS K. P.; FURLANI, C. E. A.; NAGAOKA, A. K.; CASTRO NETO, P.; GROTTA, D.C. C. Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2. 2003. p. 382-386.

MACHADO, A. L. T. et al. **Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais**. Pelotas: UFPEL, 2005. 235p.

MACHADO, A. L. C. et al. Efeito da utilização da tração dianteira auxiliar na eficiência de tração de um trator 4x4-tda em duas condições de solo. **XIII Congresso de Iniciação Científica**, Universidade Federal de Pelotas. Disponível em: http://www.ufpel.edu.br/cic/2004/arquivos/conteudo_EN.html. Acesso em: 14/09/2013.

MAHL, D. et al. Demanda energética e eficiência da distribuição de sementes de milho sob variação de velocidade e condição de solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 150-157, 2004.

MANTOVANI, E. C.; BERTAUX, S.; ROCHA, F. E. C. Avaliação da eficiência operacional de diferentes semeadoras-adubadoras de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 12, p. 1579-86, 1992.

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

MÁRQUEZ, L. **Curso de tratores agrícolas**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2010.

MÁRQUEZ, L.; **Solo Trator '90**. Editora Laboreo, 1990.

MÁRQUEZ, L.; **Predicción del comportamiento de un tractor a la barra a partir del ensayo de su motor en banco**. Tesis Doctoral. ETSIA, UPM, Madrid, España, 1980.

MASIERO, F. C., LANÇAS, K. P., MONTEIRO, L. A., MACHADO, T. M., SARETTA, E. Avaliação do consumo de combustível de um trator agrícola em função da velocidade de deslocamento e da variação de inflação dos pneus. In: **XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA**, Vitória - ES, 2010.

MATTAR, D. M. P. **Influência do deslizamento da roda motriz de uma semeadora/adubadora de plantio direto no espaçamento longitudinal de sementes de milho**. 2010. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas: Ensaios e certificação**. Piracicaba, SP: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. São Paulo. 722 p.

MIALHE, L. G. **Máquinas Motoras na Agricultura**, v. 2.2. EPU: Editora da Universidade de São Paulo, 1980. São Paulo. cap 13, p. 140-222 367 p.

MODOLO, A. J. et al. **Avaliação do desempenho de duas semeadoras-adubadoras precisão em diferentes velocidades**. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v. 12, n. 4, p. 298-306, out./dez. 2004.

MOLIN, J. P. Definição de Unidades de Manejo a partir de mapas de Produtividade. **Engenharia Agrícola**, v. 22, p. 83-92, 2002.

MONTEITH, J. L. Light distribution and photosynthesis in field crops. **Annals of Botany**, v. 29, p. 17- 37, 1965.

NETO, R. P.; BORTOLOTTO V. C.; BORTOLOTTO M. C. **Demanda energética de uma semeadora-adubadora pneumática submetida a três velocidades e diferentes coberturas do solo**. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2004, São Pedro - SP. CD.

NEUJAHR, E. B.; SCHLOSSER, J. F. **Comportamento de pneus agrícolas radiais e diagonais em relação à tração**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 21, n. 2, p. 180-189, maio 2001.

OCDE,. **Code 2 - Standard code for the official testing of agricultural and forestry tractor performance** Paris. 61 p., 2007.

OLIVEIRA, M. L. **Avaliação do desempenho de uma semeadora-adubadora para plantio direto, em duas classes de solo com diferentes tipos de cobertura vegetal**. Dissertação (Mestrado em Engenharia 182 Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

PACHECO, E. P.; et al. Avaliação de uma semeadora-adubadora de precisão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 3, p. 209-14, 1996.

PEREIRA, A. J. **O real e o virtual no ensino técnico de mecanização agrícola – um estudo de caso**. 2008. 52 f. Dissertação (Mestrado em Educação Agrícola) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ.

POSSEBON, S. B. **Desempenho de uma semeadora-adubadora e métodos de aplicação de inseticidas no sulco em plantio direto**. 2011, 114 f. Tese (Doutorado em engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria: 2011.

PRADO JR., C. **Mecânica da Locomoção de Veículos Rodoviários**. Cascavel, PR: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2002. Curso de Engenharia Civil, Disciplina de Transportes. 2002.

REUNIÃO DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO SUL. Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2008-2009 / **36º Reunião de Pesquisa da Soja da Região Sul**, Porto Alegre, RS, 29 a 31 de julho de 2008. Porto Alegre: Fepagro, 2008. 144 p.

RUSSINI, A.; **Projeto, construção e teste de instrumentação eletrônica para avaliação de tratores agrícolas.** 142p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

SANTOS, A. C.; SALCEDO, I. H.; CANDEIAS, A. L. B. Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na microbacia hidrográfica de Vaca Brava, PB. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 54, n. 1, p. 86-94, 2002.

SANTOS FILHO, A. G.; SANTOS, J. E. G. **Apostila de Máquinas Agrícolas.** Bauru: Universidade Estadual Paulista, UNESP. Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Mecânica. Agosto, 2001. 88 p.

SANTOS, P. M. **Modelagem do desempenho em tração de conjuntos mecanizados visando ao dimensionamento do trator.** 2010. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2010.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 4, p. 611-617, jul./ago. 2000.

SCHLOSSER, J. F.; Motores e tratores. **Caderno didático.** Departamento de Engenharia Rural - Universidade Federal de Santa Maria, RS. 76p. 1997.

SCHLOSSER, J. F.; **Influencia del avance cinemático de las ruedas delanteras motoras en la eficiencia en tracción de los tractores agrícolas.** Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, 1996. 286p. Tese (Doutorado em Ingeniería Rural) – Departamento de Ingeniería Rural, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, 1996.

SHIBLES, R. M.; WEBER, C. R. Leaf area, solar radiation interception, and dry matter production by various soybean planting patterns. **Crop Science**, v. 6, p. 575-577, 1965.

SILVA, D. B. Efeito da profundidade de plantio sobre o trigo irrigado na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, p. 769-773, 1992.

SILVA, J. G.; KLUTHCOUSKI, J.; SILVEIRA, P. M. Desempenho de uma semeadora-adubadora no estabelecimento e na produtividade da cultura do milho sob plantio direto. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 7-12, 2000.

SILVA, S. de L.; BENEZ, S. H.; RICIERI, R. P.; PEREIRA, J. O. Demanda energética em sistema de semeadura direta em milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBEA, 2000. CD-ROM.

SILVA, S.L. **Avaliação de semeadoras para plantio direto:** demanda energética, distribuição longitudinal e profundidade de deposição de sementes em diferentes velocidades de deslocamento. 2000. 123 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

SILVEIRA, G. M. **As máquinas de plantar: aplicadoras, distribuidoras, semeadoras, plantadoras, cultivadoras.** Editora Globo, Rio de Janeiro. 1989.

SILVEIRA, J. C. M.; GABRIEL FILHO, A.; SECCO, D. Demanda de potência e força de tração de uma semeadora na implantação do milho safrinha sob plantio direto. **Engenharia na Agricultura**, v. 13, n. 04, p. 256-267. 2005a.

SILVEIRA, J. C. M.; MODOLO, A. J.; SILVA, S. L.; GABRIEL FILHO, A. Força de tração e potência de uma semeadora em duas velocidades de deslocamento e duas profundidades de deposição de sementes. **Revista brasileira. eng. agríc. ambient.** 2005, vol.9, n.1. Campina Grande, 2005b.

TOURINO, M. C. C. **Influência da velocidade tangencial dos discos de distribuição e dos condutores de sementes de soja, na precisão de semeadoras.** 1993. 114p. Dissertação Mestrado. UNICAMP, Campinas: 1993.

TOURINO, M. C.; KLINGENSTEINER, P. Ensaio e avaliação de semeadoras-adubadoras. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 8. Rio de Janeiro. **Anais.** Rio de Janeiro: UFRRJ, 1983. v. 2. p. 103-116.

TRINTIN, C. G. et al. Demanda energética solicitada por uma semeadora-adubadora para plantio direto, submetida a três velocidades de operação. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 27, n. 1, p. 127-131, 2005.

TSCHIEDEL, M., FERREIRA, M. F. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência. Rural**, v. 32, p. 159-163, 2002.

VALE, W. G. **Análise de desempenho de uma semeadora-adubadora de semeadura direta no norte fluminense.** 2007. 88f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos do Goytacazes, RJ, 2007.

VAN ASS SEMENTES. **RA 626 RR.**

Disponível em: <<http://www.vanass.com.br/produtos/soja/11/>>. Acesso em: 08/09/2012.

WITNEY, B. **Choosing and using farm machines.** Harlow: Longman, 1988. 412p.

ZABOT, L. **Caracterização agronômica de cultivares transgênicas de soja cultivadas no Rio Grande do Sul.** 2009. 280 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2009.

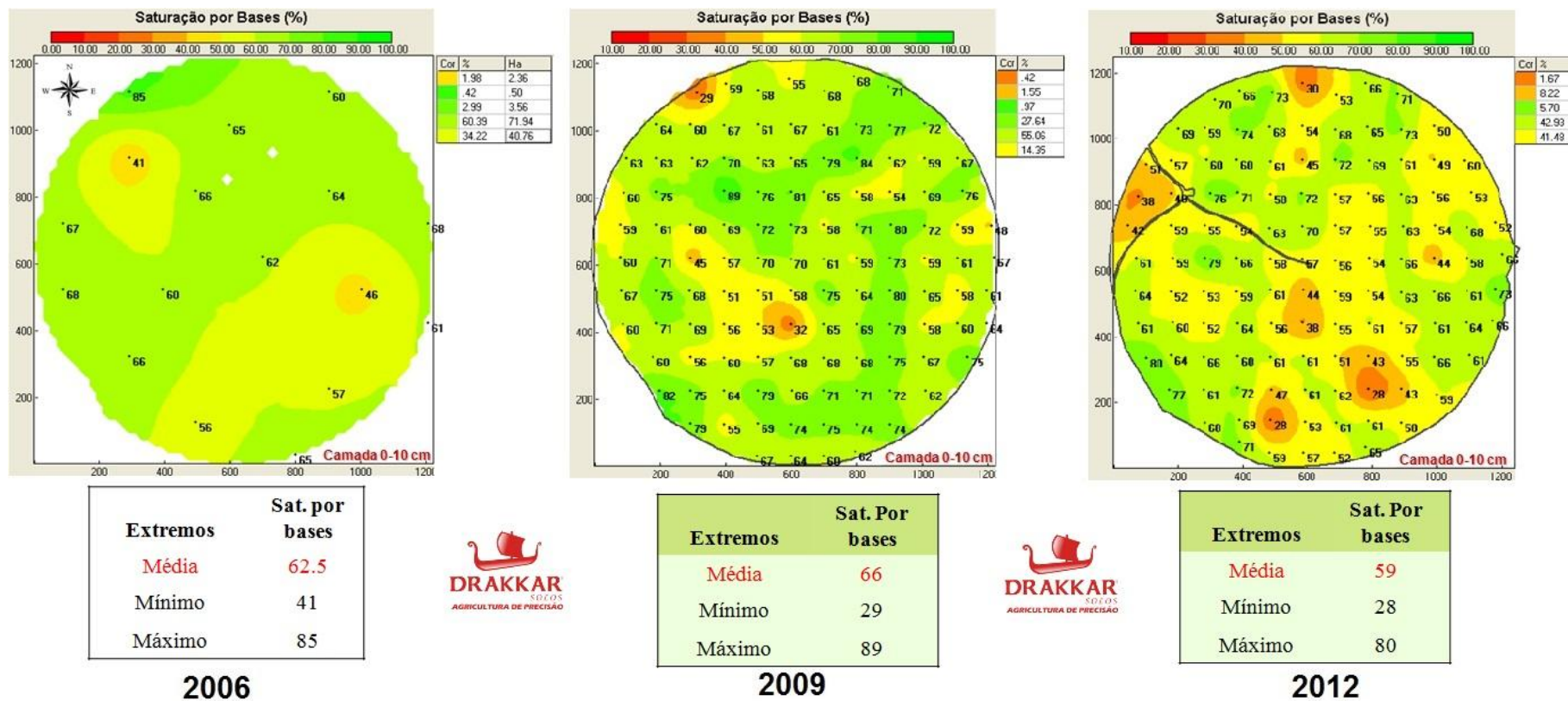
APÊNDICES

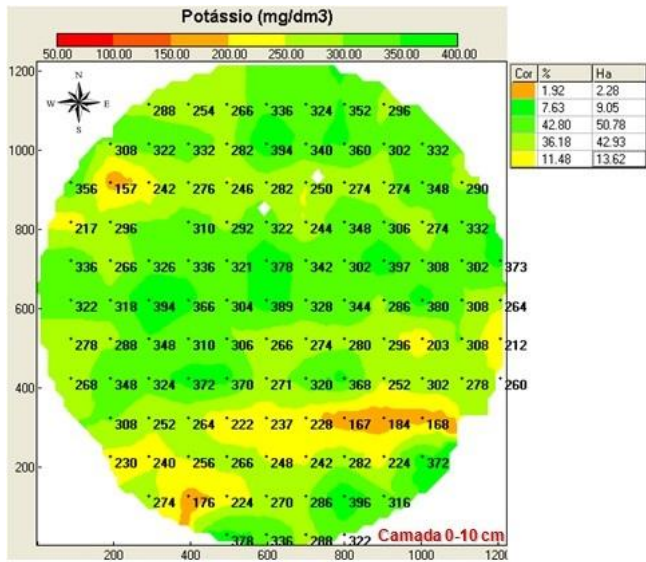


Apêndice A – Ciclo das cultivares, considerado a partir da emergência das plântulas (14/11/2010) até a colheita.

Cultivar	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Maç.	Abr.	Ciclo total (dias)
BMX ATIVA RR	14	31	31	28	21	-	125
Igra RA 626 RR	14	31	31	28	31	17	152

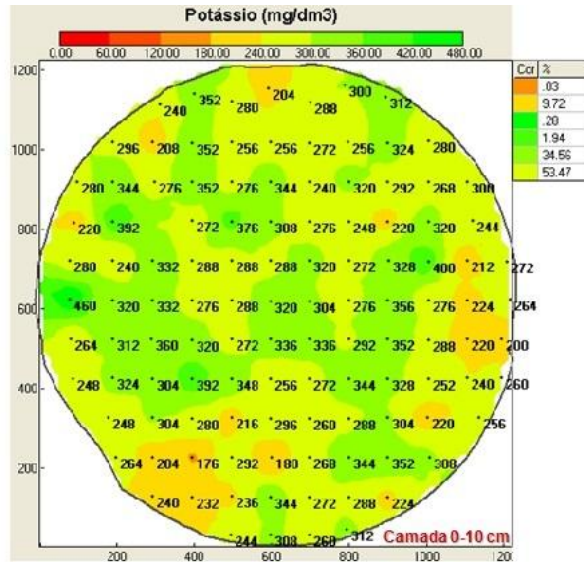
Apêndice B – Histórico de análises de solo da área experimental referente ao Capítulo 2, intitulado “Densidade de semeadura de soja em função do relevo”, disponibilizado pela empresa Drakkar Solos.





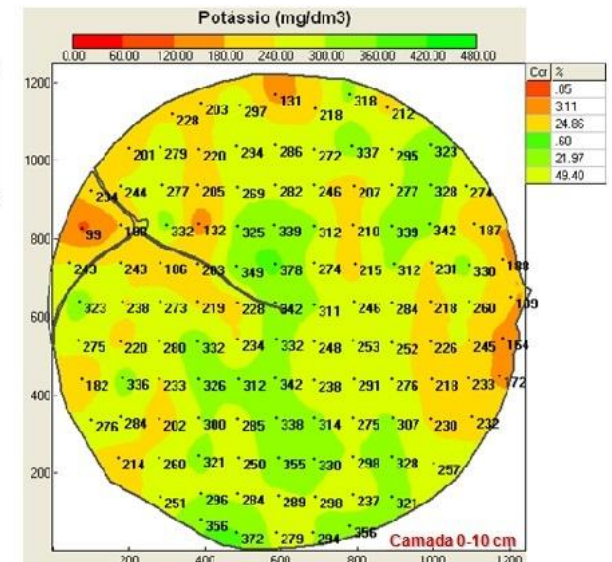
Extremos	Potássio
Média	296.2
Mínimo	157
Máximo	397

2006



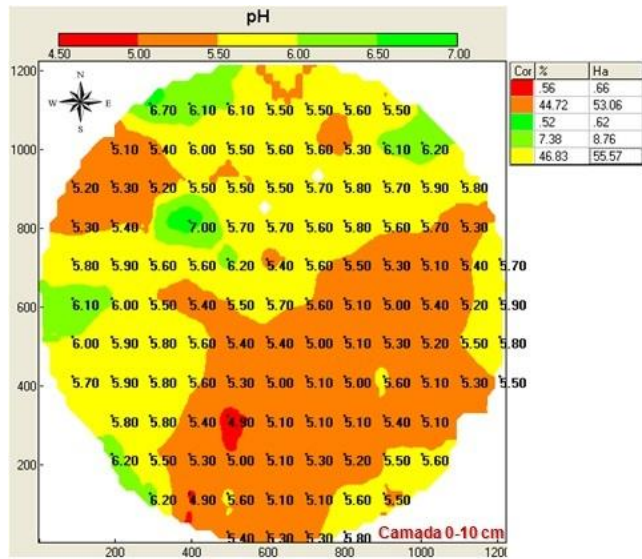
Extremos	Potássio
Média	285
Mínimo	176
Máximo	460

2009



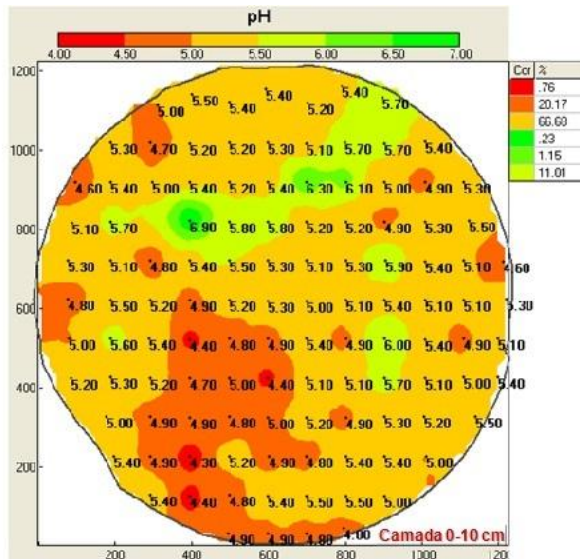
Extremos	Potássio
Média	267
Mínimo	99
Máximo	378

2012



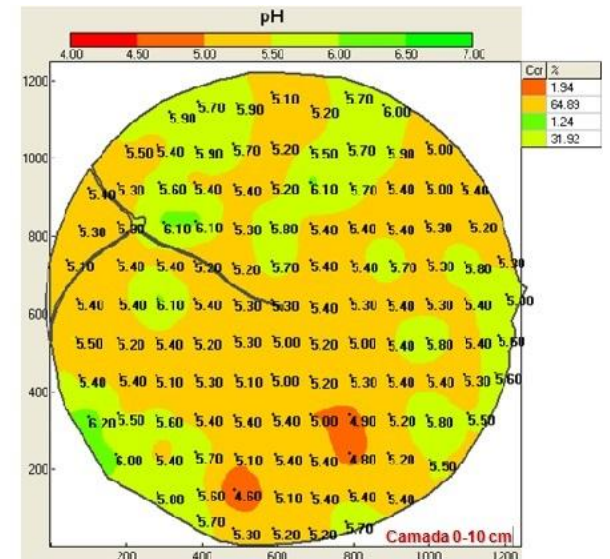
Extremos	pH
Média	5,5
Mínimo	4,9
Máximo	7,0

2006



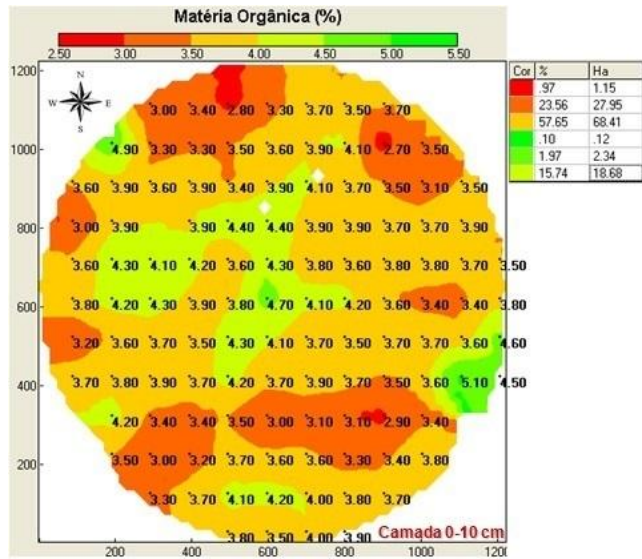
Extremos	pH
Média	5,2
Mínimo	4,3
Máximo	6,9

2009



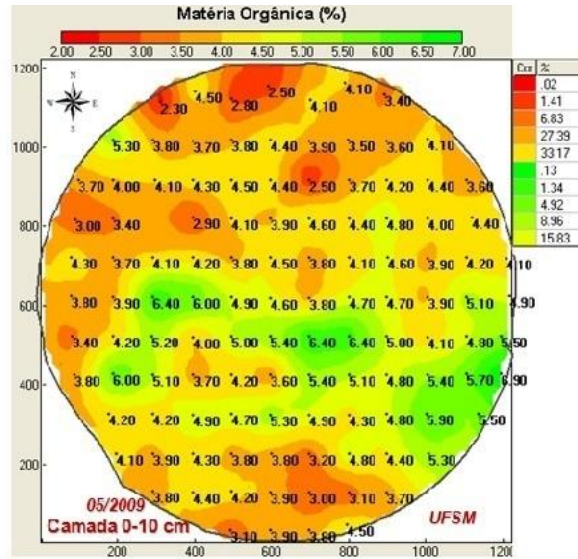
Extremos	pH
Média	5,4
Mínimo	4,6
Máximo	6,2

2012



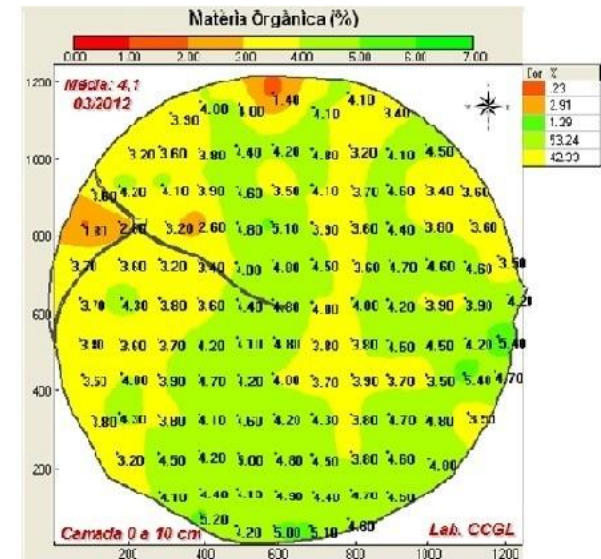
Extremos	MOS:
Média	3,7
Mínimo	2,7
Máximo	5,1

2006



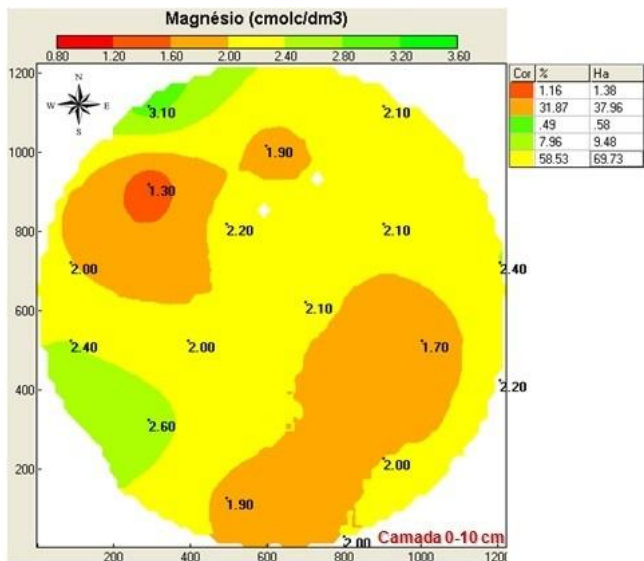
Extremos	MOS
Média	4,3
Mínimo	2,3
Máximo	6,9

2009



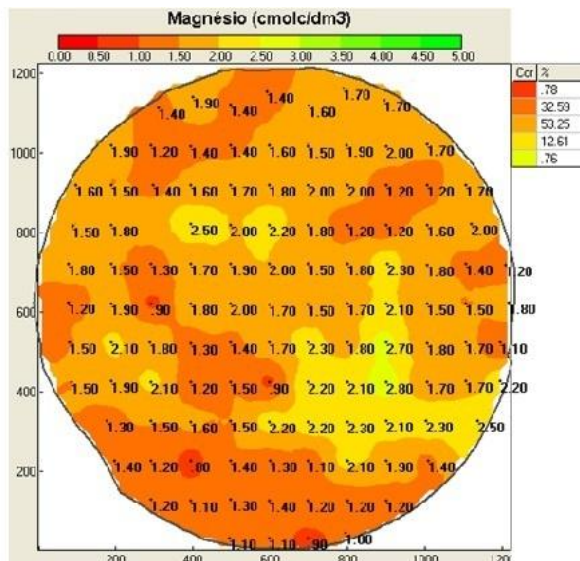
Extremos	MOS
Média	4,1
Mínimo	1,4
Máximo	5,4

2012



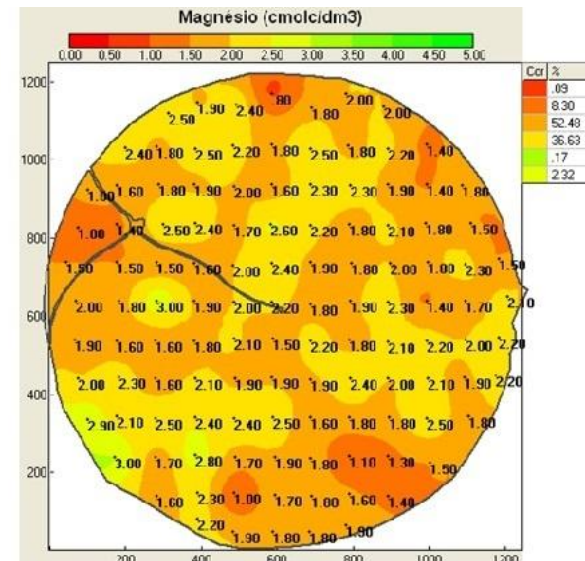
Extremos	Magnésio
Média	2.1
Mínimo	1.3
Máximo	3.1

2006



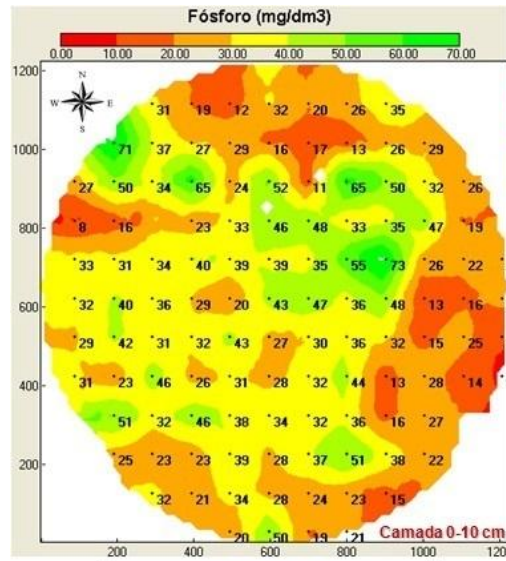
Extremos	Magnésio
Média	1,6
Mínimo	0,8
Máximo	2,8

2009



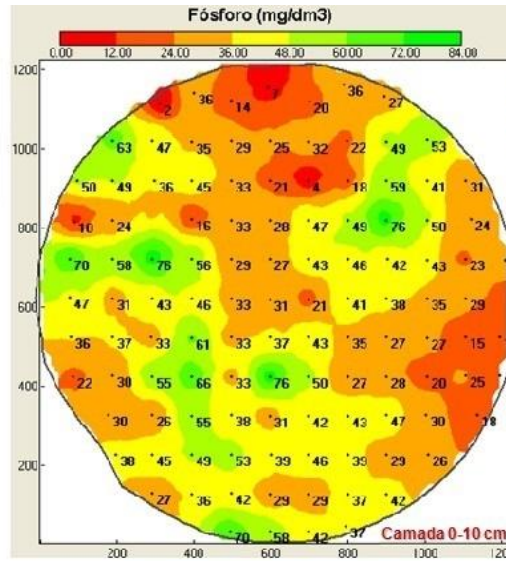
Extremos	Magnésio
Média	1,9
Mínimo	0,8
Máximo	3,0

2012



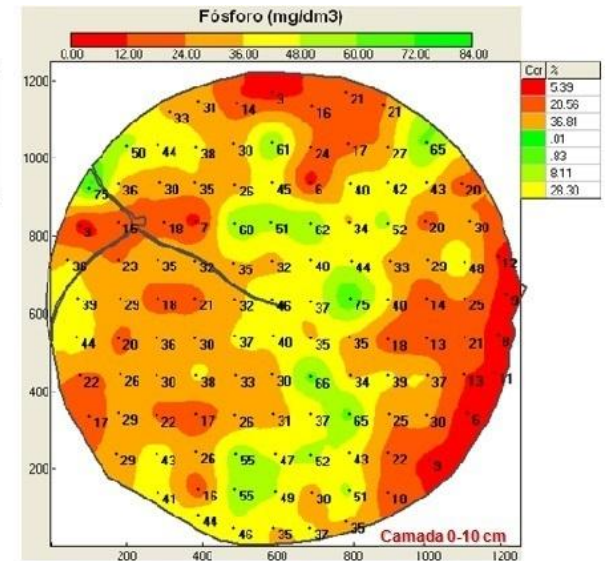
Extremos	Fósforo
Média	31.9
Mínimo	8.0
Máximo	73

2006



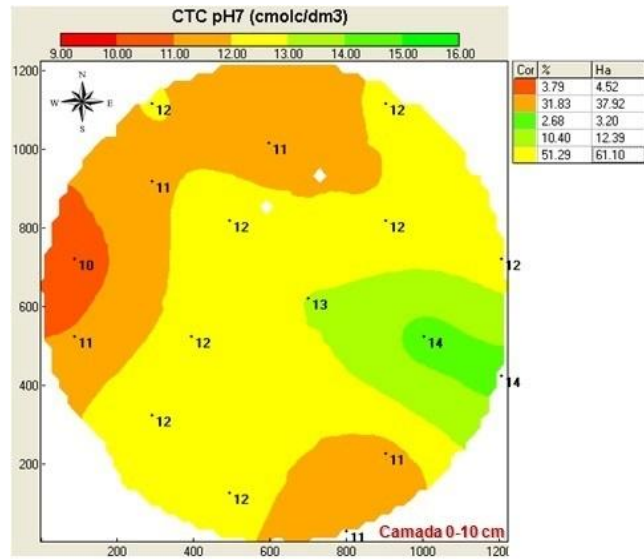
Extremos	Fósforo
Média	37
Mínimo	2
Máximo	76

2009



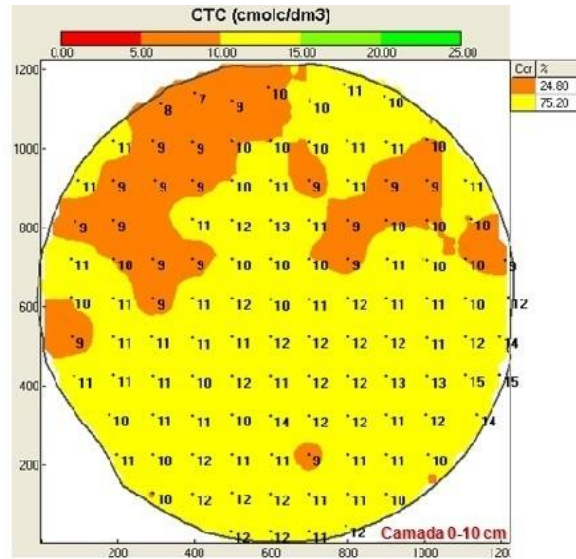
Extremos	Fósforo
Média	32
Mínimo	3
Máximo	75

2012



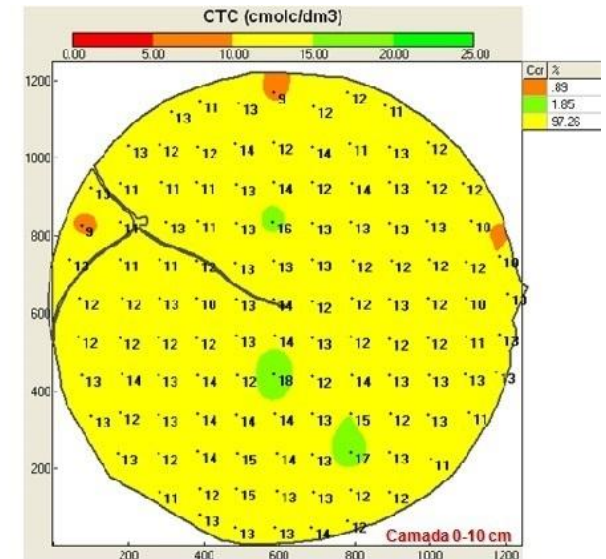
Extremos	CTC
Média	12.2
Mínimo	10.0
Máximo	14.0

2006



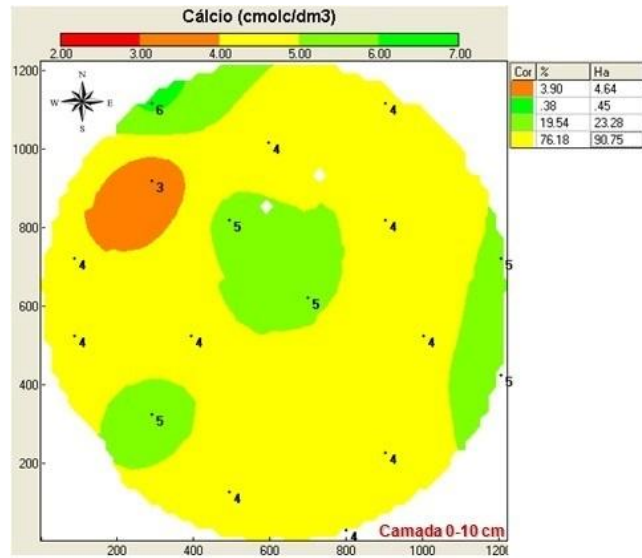
Extremos	CTC
Média	10,8
Mínimo	7
Máximo	15

2009



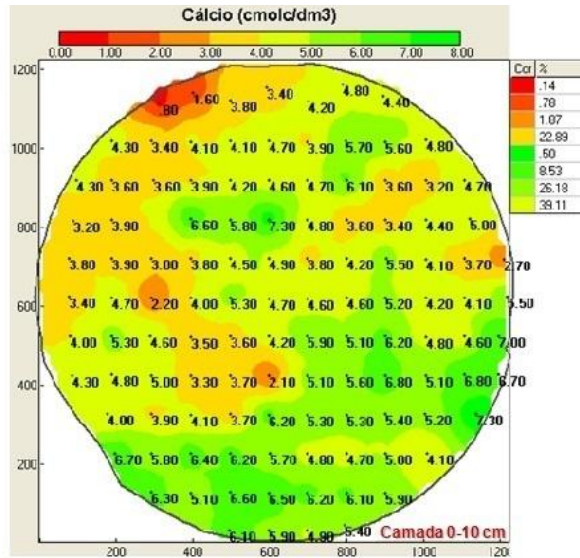
Extremos	CTC
Média	12,5
Mínimo	9
Máximo	18

2012



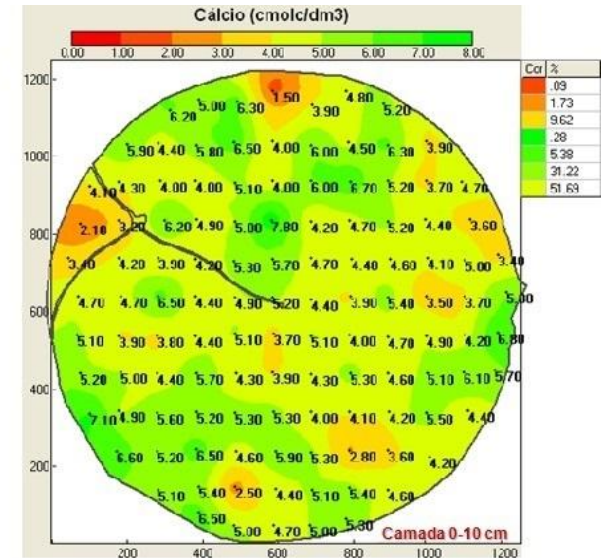
Extremos	Cálcio
Média	4.8
Mínimo	3.0
Máximo	6.0

2006



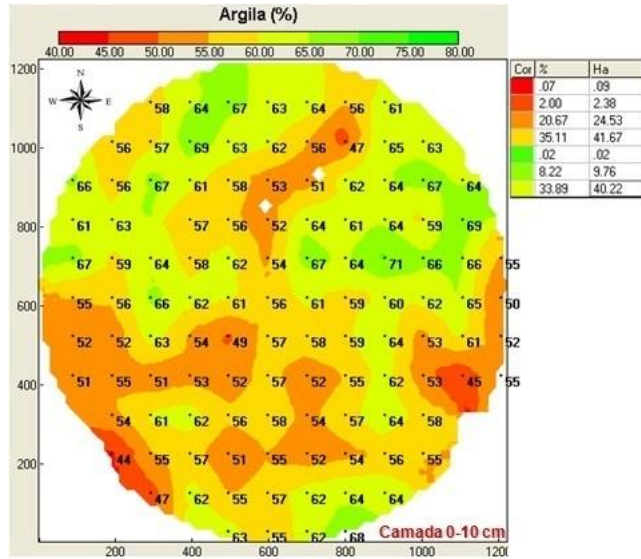
Extremos	Cálcio
Média	4,7
Mínimo	0,8
Máximo	7,3

2009



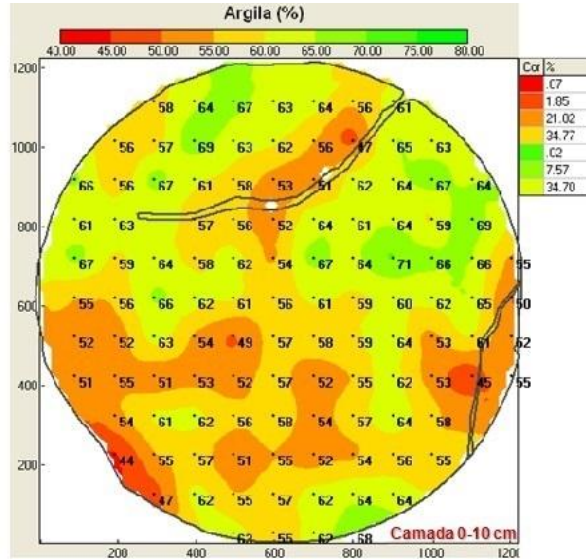
Extremos	Cálcio
Média	4,8
Mínimo	1,5
Máximo	7,8

2012



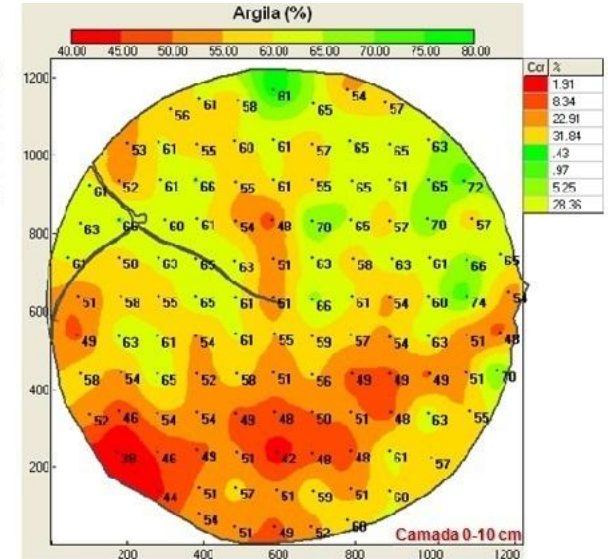
Extremos	Argila
Média	58.7
Mínimo	44
Máximo	68

2006



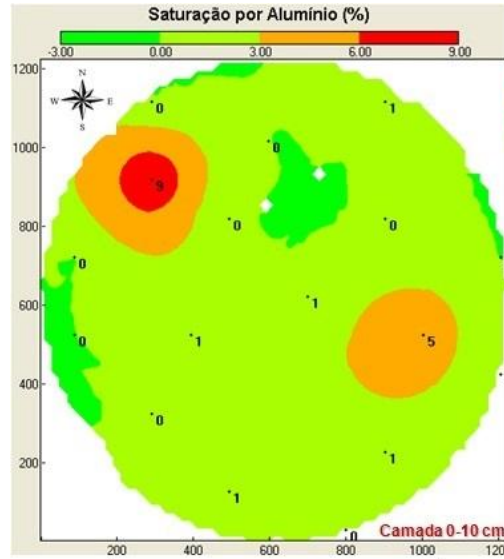
Extremos	Argila
Média	59
Mínimo	44
Máximo	71

2009



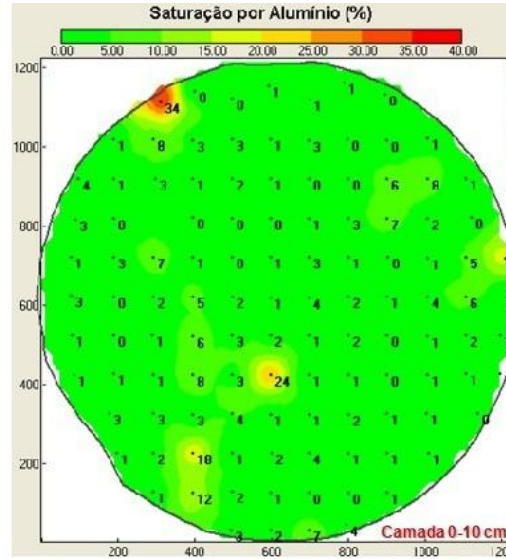
Extremos	Argila
Média	57
Mínimo	38
Máximo	81

2012



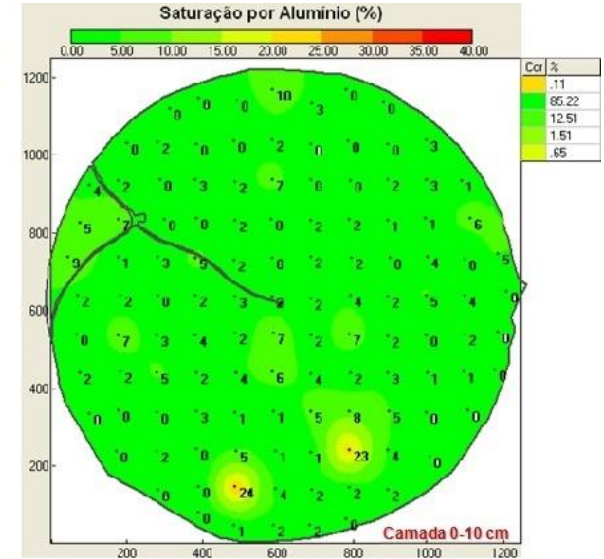
Extremos	Sat. Alumínio
Média	1.3
Mínimo	0.0
Máximo	9.0

2006



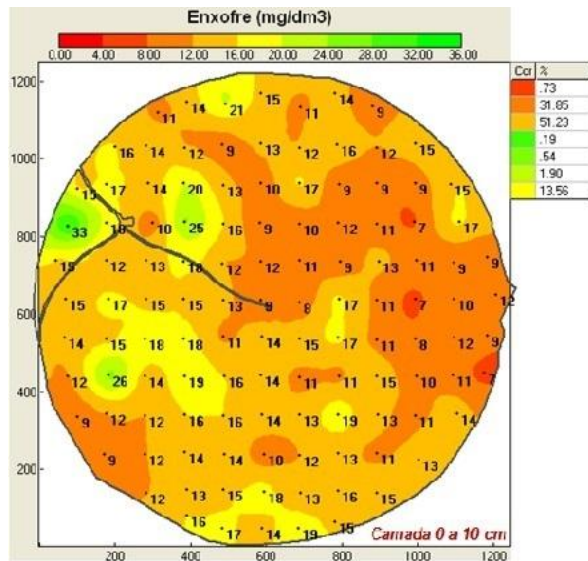
Extremos	Sat. Alumínio
Média	3
Mínimo	0
Máximo	34

2009



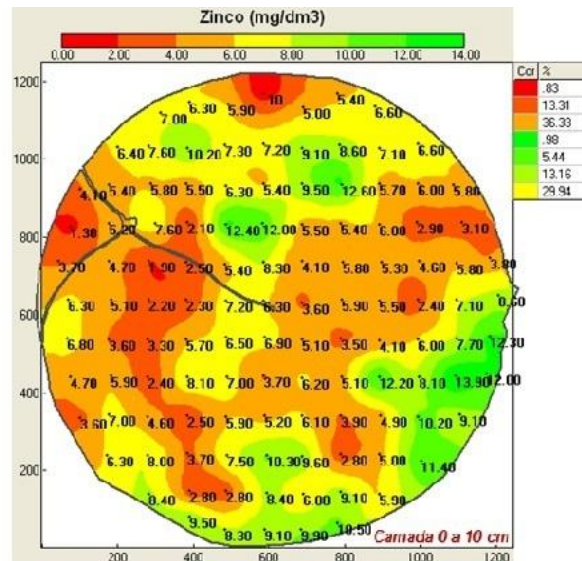
Extremos	Sat. Alumínio
Média	3
Mínimo	0
Máximo	24

2012



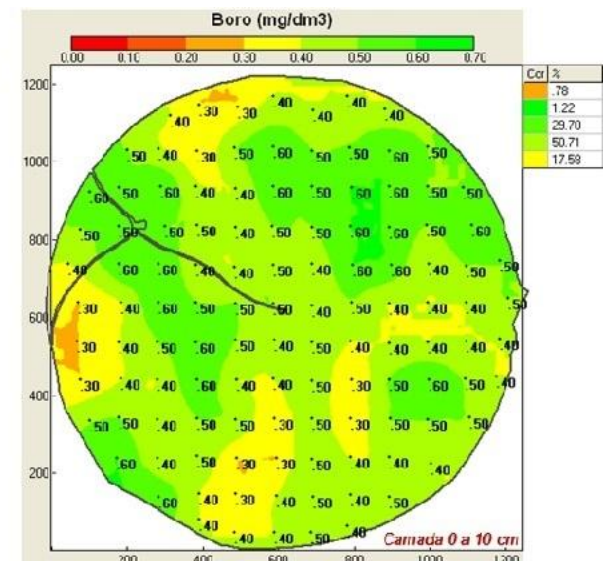
Extremos	Enxofre
Média	13,4
Mínimo	7
Máximo	33

2012



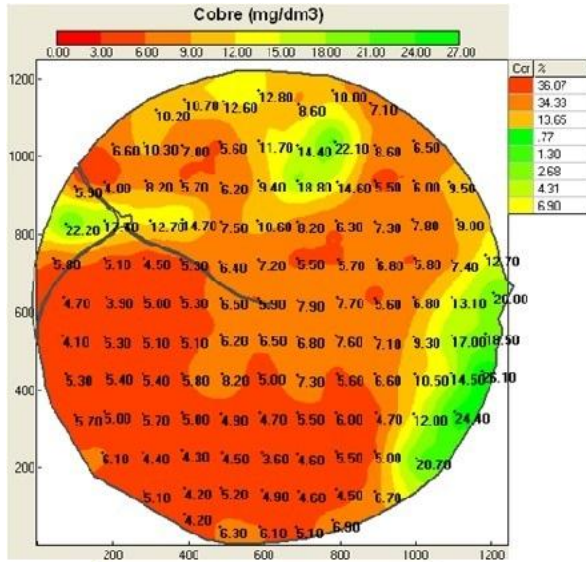
Extremos	Zinco
Média	6,3
Mínimo	0,1
Máximo	13,9

2012



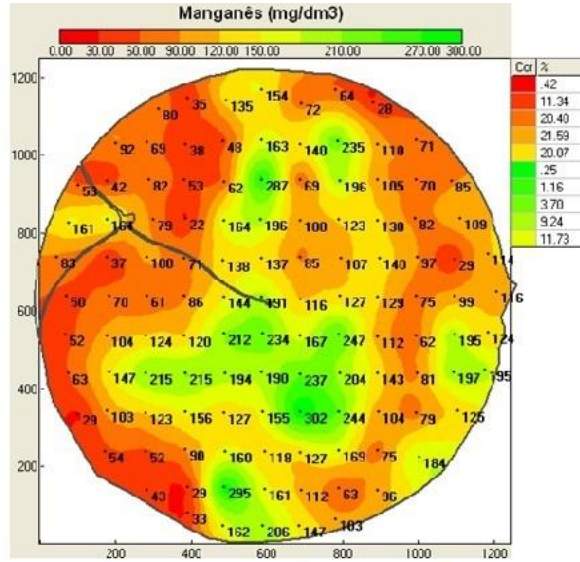
Extremos	Boro
Média	0,5
Mínimo	0,3
Máximo	0,6

2012



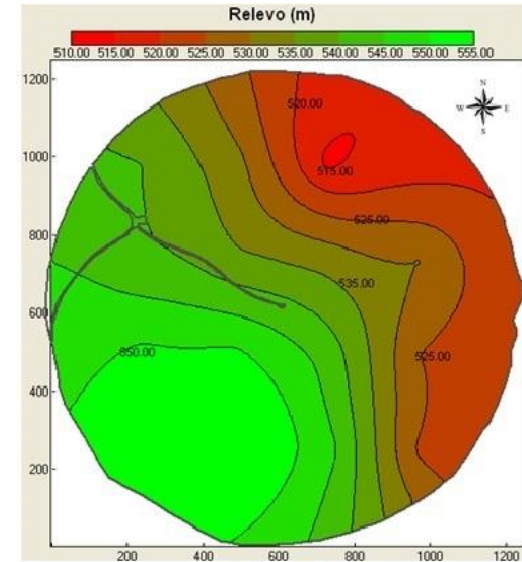
Extremos	Cobre
Média	8,2
Mínimo	3,6
Máximo	26,1

2012



Extremos	Manganês
Média	121
Mínimo	22
Máximo	302

2012



Apêndice D – Análise física do solo, dados de irrigação suplementar e incidência de chuvas, durante o período do experimento (novembro de 2011 a abril de 2012).

Área: 1										
Usuário: Van Ass		Cliente: ██████████			Pivô 05			Panambi(RS)		
População: 400.000 pl/ha				Área Contratada: 117.80 ha			Variedade: bmx ativa			
Latitude: 28° 01' 36.7" S				Longitude: 53° 33' 15.9" W			Altitude: 547.00 m			
Semeadura: 06/11/11				Ativado em: 08/11/11			Situação: Encerrado em 23/03/12			
Cultura: Soja				Sistema de Cultivo: plantio direto			Espaçamento (linhas): 0.50 m			
Lam. Mínima: 4.56 mm				Tempo 100%: 11.56 h						
Dias após semeadura (DAS): 139 dias				Total de Irrigações: 218.65 mm			Total de Chuvas/irrig. extra: 353.00 mm			
ANÁLISE FÍSICA										
Lance	Camada (cm)	Areia (%)	Argila (%)	Silte (%)	Classe Textural	H ₂ O (-kPa)				
						6	33	100	500	1500
4	0 - 20	13.13	60.64	26.22	Muito Argiloso	0.442	0.394	0.378	0.287	0.254
IRRIGAÇÕES RECOMENDADAS										
Data	Irrigação (mm)	Irrig. Acum. (mm)	Data	Irrigação (mm)	Irrig. Acum. (mm)					
08/11/11	7.30	7.30	10/01/12	12.81	116.25					
16/11/11	7.30	14.60	18/01/12	12.80	129.05					
20/11/11	7.30	21.90	30/01/12	12.80	141.85					
28/11/11	10.00	31.90	02/02/12	12.80	154.65					
06/12/11	8.80	40.70	14/02/12	12.80	167.45					
13/12/11	11.54	52.24	18/02/12	12.80	180.25					
19/12/11	12.80	65.04	06/03/12	12.80	193.05					
25/12/11	12.80	77.84	10/03/12	12.80	205.85					
30/12/11	12.80	90.64	18/03/12	12.80	218.65					
05/01/12	12.80	103.44								
IRRIG. EXTRA(i) OU CHUVAS CADASTRADAS										
Data	Chuva (mm)	Acum. (mm)	Data	Chuva (mm)	Acum. (mm)					
10/11/11	52.00	52.00	21/02/12	30.00	281.00					
14/11/11	11.00	63.00	25/02/12	16.00	297.00					
21/11/11	10.00	73.00	28/02/12	0.00	297.00					
22/11/11	20.00	93.00	29/02/12	36.00	333.00					
31/12/11	16.00	109.00	11/03/12	5.00	338.00					
13/01/12	55.00	164.00	14/03/12	15.00	353.00					
22/01/12	55.00	219.00								
04/02/12	12.00	231.00								
07/02/12	20.00	251.00								
09/02/12	0.00	251.00								

Fonte: Sistema Irriga®