

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de desenvolvimento tecnológico
Programa de pós-graduação em recursos hídricos

Dissertação de mestrado



**Uso de ferramentas de geotecnologias para a simulação do manejo da
água em terras baixas.**

Marcos Valle Bueno

PELOTAS, 2018

Marcos Valle Bueno

**Uso de ferramentas de geotecnologias para a simulação do manejo da
água em terras baixas.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos do Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos.

Orientador: Lessandro Col Faria

Coorientador: Jose Maria Barbat Parffit

Pelotas, 2018

Banca examinadora:

Prof. Dr. Lessandro Coll Faria (orientador)
Programa de pós-graduação em recursos hídricos – UFPel

Dr. Fabrício da Silva Terra
Programa de pós-graduação em recursos hídricos – UFPel

Dra. Luciana Marini Köpp
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” – Ufpel

Dr. Luis Carlos Timm
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” – Ufpel

Dedico este trabalho a minha família, a minha namorada e a todos meus amigos.

Agradecimentos

Agradeço a minha família por todo o apoio e companhia.

Ao meu orientador Prof. Dr. Lessandro Coll Faria pela oportunidade de trabalho e por sua parceria e dedicação.

Ao meu Coorientador Dr. José Maria Barbat Parfitt pelo auxílio em meus trabalhos, por todo conhecimento a mim transmitido e também pela amizade firmada durante esta jornada, meus mais sinceros agradecimentos.

A Embrapa pela oportunidade de trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da UFPel pela oportunidade de aprendizagem e de trabalho.

Aos colegas de Embrapa pelo convívio e troca de experiências e de conhecimento.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos pelo auxílio no desenvolvimento técnico-científico.

Um agradecimento muito especial a uma pessoa que me faz crescer a cada dia e a superar todos os obstáculos, me dando apoio e força, a qual eu compartilho os momentos bons e também os ruins, minha namorada Carolina da Silva Silveira.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais volta ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

Resumo

BUENO, Marcos Valle. Uso de ferramentas de geotecnologias para a simulação do manejo da água em terras baixas.. 2018. 62f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

Este trabalho tratou do uso de geotecnologias no manejo da água em terras baixas do Rio Grande do Sul e foi constituído por dois capítulos. O primeiro teve como título “Demarcação de taipas em lavouras de arroz irrigado: Nível Laser versus GNSS-RTK”. O objetivo foi comparar o desempenho dos sistemas Nível Laser e GNSS-RTK aplicados na demarcação de taipas. O trabalho foi realizado em uma área experimental de 27 ha pertencente a Granja Bretanhas S/A, localizada no município de Jaguarão/RS. A área experimental foi subdividida, em função da declividade, em três subáreas, denominadas como: i) plana (0,16%); ii) intermediária (0,36%); e iii) suavemente ondulada (1,3%). Para avaliar os sistemas de demarcação de taipas foram realizadas análises do comportamento vertical e horizontal das taipas, bem como uma análise espacial da lâmina de água aplicada proporcionada pelas taipas em cada um dos sistemas. Concluiu-se que: (i) as taipas demarcadas pelo sistema GNSS-RTK apresentaram maior precisão que as taipas demarcadas pelo sistema NL, principalmente na zona plana; (ii) na zona plana o sistema de demarcação GNSS-RTK permite diminuir o número de taipas, aumentar a equidistância vertical entre taipas, ou ainda diminuir a altura das mesmas e; (iii) o comprimento das taipas para todas as zonas foi menor no sistema GNSS-RTK. O segundo capítulo teve como título “Avaliação de modelos de sistematização com declividade variada nas terras baixas”. O objetivo foi avaliar os novos modelos de sistematização com declividade variada em áreas de terras baixas do RS tendo como base o modelo de sistematização com declividade uniforme. Para tal foram escolhidas aleatoriamente sete áreas experimentais, na região “Litoral Sul” do RS, com relevo típico dessa região. Foi elaborado o modelo digital de elevação das áreas e elaborados os projetos de sistematização segundo três modelos: com declividade uniforme (testemunha, DU); com declividade variada - drenagem (DVD) e; com declividade variada - irrigação (DVI). A comparação do desempenho entre os diferentes modelos de sistematização foi avaliada pelos impactos sobre o movimento de solo, corte máximo em 99% da área, comprimento e número de taipas. Concluiu-se que: (i) os novos modelos de sistematização com declividade variada representam um avanço tecnológico em relação ao modelo com declividade uniforme devido a que diminuem o custo e agredem menos o solo; (ii) o modelo de sistematização com declividade variada - drenagem apresenta de forma geral menor movimento de solo e corte que o modelo com declividade variada – irrigação; (iii) o modelo de sistematização com declividade variada - irrigação apresenta melhor desempenho que o com declividade variada - drenagem com relação ao comprimento e número de taipas.

Palavras-chave: várzea, arroz irrigado, solos impermeáveis, sistematização, agricultura de precisão, curvas de níveis.

Abstract

BUENO, Marcos Valle. Use of geotechnology as a tool for the simulation of management of water in lowlands. 2018. 62p. Dissertation (Master's Degree in Water Resources) – Graduate Program in Water Resources, Center of Technological Development, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2018.

This work dealt with the use of geotechnologies in the management of water in the lowlands of Rio Grande do Sul and was constituted by two chapters. The first one was entitled "Demarcation of levees in irrigated rice crops: Laser level versus GNSS-RTK". The objective was to compare the performance of Laser Level and GNSS-RTK systems applied in the demarcation of levees. The work was carried out in an experimental area of 27 ha belonging to Granja Bretanhas S / A, located in the count of Jaguarão/RS. The experimental area was subdivided, as a function of slope, in three subareas, denominated as: i) flat (0.16%); ii) intermediary (0.36%); and iii) gently undulated (1.3%). To evaluate the levee demarcation systems, the vertical and horizontal behavior of the levee were analyzed, as well as a spatial analysis of the applied water depth provided by the levee in each of the systems. It was concluded that: (i) the levees demarcated by the GNSS-RTK system presented higher precision than the tails demarcated by the NL system, mainly in the flat zone; (ii) in the flat zone the GNSS-RTK demarcation system allows to reduce the number of levees, to increase the vertical equidistance between levees, or to decrease their height and; (iii) the length of the levees for all zones was lower in the GNSS-RTK system. The second chapter was entitled "Evaluation of land forming models with varied slope in the lowlands". The objective was to evaluate the new models of systematization with varied slope in lowland areas of RS based on the land level model with uniform slope. For this, seven experimental areas were selected, in the "South Coast" region of RS, with typical relief of this region. The digital elevation model of the areas was created and the systematization projects were elaborated according to three models: with uniform slope (control, DU); with varied slope to drainage (DVD) and; with varied slope to irrigation (DVI). The performance comparison between the different models of systematization was evaluated by the impacts on soil movement, maximum cut in 99% of the area, length and number of levees. It was concluded that: (i) the new models of land forming with varied slope represent a technological advance in relation to the model with uniform slope because they reduce the cost and less cut of the soil; (ii) the model of land forming with varied slope - drainage presents, in general, less movement of soil and cut than the model with varied slope to irrigation; (iii) the land forming model with varied slope - irrigation presents better performance than the one with varied slope to drainage with respect to the length and number of levees.

Key words: irrigated rice, waterproof soils, systematization, precision agriculture, level curves.

Lista de Figuras

Figura 1	Modelo digital de elevação da área experimental (A); taipas e curvas de nível no sistema NL (B); taipas e curva de nível no sistema GNSS-RTK (C).....	31
Figura 2	Modelo digital de elevação original da área experimental 1 (A) e pós-sistematização no modelo com declividade uniforme (B) e suas respectivas curvas de níveis com 5 cm de desnível entre si.....	40
Figura 3	Modelo digital de elevação da área experimental 1, A e B original e após sistematização pelo modelo com declividade variada (declividade mínima de 0.05%) com suas respectivas curvas de níveis com 5 cm de desnível entre si e C e D com suas respectivas taipas com 5 cm de desnível entre si.....	42
Figura 4	Modelo digital de elevação da área experimental 1, A e B original e após sistematização pelo modelo com declividade variada-drenagem (declividade mínima de 0,05%) com as respectivas rede de drenos superficiais. Nas figuras C e D se mostra o perfil dreno.....	45
Figura 5	Modelo digital de elevação da área experimental 1, A e B original e após sistematização pelo modelo com declividade variada-irrigação (declividade mínima de 0,025%) com as respectivas curvas de níveis com 5 cm de desníveis entre si e C e D com suas respectivas curvas de níveis com 5 cm de desníveis entre si.....	46

Lista de Tabelas

Tabela 1	Comportamento vertical das taipas demarcadas pelos sistemas NL e GNSS-RTK em função da declividade do terreno.....	27
Tabela 2	Comportamento horizontal das taipas demarcadas pelos sistemas Nível a Laser (NL) e GNSS-RTK em função da declividade do terreno.....	30
Tabela 3	Análise da irrigação resultante da demarcação de taipas pelos sistemas Nível Laser (NL) e GNSS-RTK em função da declividade do terreno.....	33
Tabela 4	Características das sete áreas experimentais originais.....	40
Tabela 5	Sistematização com declividade uniforme nas sete áreas experimentais.....	48
Tabela 6	Resultados obtidos pela sistematização com declividade variada visando drenagem (DVD) nas áreas experimentais para as quatro declividades mínimas.....	49
Tabela 7	Resultados obtidos pela sistematização com declividade variada visando a irrigação (DVI) nas áreas experimentais.....	52

Lista de Abreviaturas e Siglas

DVD	Declividade Variada visando a Drenagem
DVI	Declividade Variada visando a Irrigação
DU	Declividade Uniforme
GNSS	Global Navigation Satellite System
LIP	Lâmina Inferior a Proposta
LP	Lâmina Proposta
LSP	Lâmina Superior a Proposta
NL	Nível Laser
RTK	Real Time Kinematic

Sumário

1. Introdução	13
2. Revisão de Literatura	14
2.1. A cultura do arroz.....	14
2.2. Irrigação na cultura do arroz	15
2.3. Solos de terras baixas.....	16
2.4. Drenagem em terras baixas	17
2.5. Nível Laser	18
2.6. Sistema GNSS - RTK.....	19
2.7. Sistematização.....	20
2.7.1. Sistematização por Raio Laser	21
2.7.2. Sistematização por GNSS-RTK.....	22
3. Capítulo 1 - Demarcação de taipas em lavouras de arroz irrigado: Nível laser versus GNSS-RTK	23
3.1. Introdução	23
3.2. Metodologia	24
3.3. Resultados e discussão	27
3.4. Conclusão	35
4. Capítulo 2 - Avaliação de modelos de sistematização com declividade variada nas terras baixas do Rio Grande do Sul	36
4.1. Introdução	36
4.2. Metodologia	37
4.3. Resultados e Discussão.....	39
4.3.1. Áreas experimentais.....	39
4.4. Aplicação dos modelos de sistematização.....	48
4.4.3. Modelo de sistematização com declividade variada visando irrigação (DVI).....	52
4.5. Comparação entre modelos de sistematização	54
4.5.1. Em relação ao movimento de solo e corte máximo	54
4.5.2. Em relação ao comprimento e número de taipas	54
4.6. Conclusões	55
Bibliografia.....	56

1. Introdução

A agricultura é uma atividade básica para a sobrevivência do ser humano, e juntamente com a agricultura surgiram necessidades ao longo desta atividade, dentre as elas, a irrigação desempenha um papel de extrema importância.

Antigamente a água era conduzida através de aquedutos e canais de irrigação, os quais levavam a água vinda da sua fonte de origem, normalmente uma cota mais alta, até o local onde as culturas estavam instaladas. Esta condução de água através de canais se dá até hoje, e é bastante utilizada na cultura do arroz.

Entre os sistemas de irrigação existentes podemos citar a irrigação por aspersão, a irrigação localizada, e também a irrigação por superfície. Esta última pode-se subdividir em irrigação por faixas, por sulcos, e por inundação. A irrigação por superfície é caracterizada por apresentar a aplicação de um grande volume de água na lavoura.

A cultura do arroz no estado do Rio Grande do Sul é irrigada utilizando a irrigação por superfície, canais de condução e estações de recalque. Estas elevam o nível da água, aumentando o seu potencial gravitacional, e fazendo com que ela escoe do ponto mais alto até o ponto mais baixo da lavoura somente com a utilização da energia gravitacional.

Sendo assim, com a água fluindo do ponto mais alto ao ponto mais baixo da lavoura são necessárias barreiras para que se possa manter uma lâmina de água desejada, e para isso são utilizadas as taipas, que são executadas a campo com um trator e uma entaipadeira.

A demarcação das taipas a campo vem sendo realizada com o auxílio da ferramenta nível laser (NL), a qual utiliza um raio laser para formar um plano e este plano serve como referência para se traçar as taipas, este método porém depende muito da habilidade do operador do trator.

Um novo método de demarcação das taipas a campo está sendo difundido no setor orizícola. E este utiliza o sistema Global Navigation Satellite System (GNSS), sendo um sistema de correção de sinal via satélite e piloto automático para guiar o trator no campo.

Outro fator importante é o sistema de drenagem, que dependente da condutividade hidráulica do solo, sendo que nas áreas de terras baixas apresentam uma baixa condutividade hidráulica no seu horizonte B.

Quanto à superfície do terreno, a declividade é um fator de extrema importância, pois a água proveniente da chuva depende desta declividade para ter uma maior ou menor velocidade de escoamento. Quanto maior for a declividade, maior será o escoamento superficial, e mais rápida será a retirada da água da lavoura.

A sistematização agrícola é uma alternativa para melhorar a drenagem, e a sistematização com declividade variada pode ser uma alternativa de baixo custo e baixo impacto ambiental nas camadas do solo.

Existem ferramentas que podem auxiliar na realização de um projeto que melhore a drenagem e a irrigação de uma área, dentre elas estão o uso de sistemas GNSS (Global Navigation Satellite System), a utilização de softwares de geoprocessamento, o uso de equipamentos que trabalham com sistemas de controle e automação de alto desempenho e juntamente com sistemas GNSS proporcionam uma excelente precisão nos eixos X, Y, e Z.

Diante disto, este trabalho teve como objetivos:

- (i) Avaliar a precisão dos sistemas Nível Laser e GNSS-RTK na demarcação de taipas na lavoura de arroz.
- (ii) Avaliar novos modelos de sistematização com declividade variada utilizando-se como indicadores o movimento e corte máximo de solo, comprimento e número de taipas em áreas de terras baixas do Rio Grande do Sul (RS) tendo como comparação o modelo de sistematização com declividade uniforme.

2. Revisão de Literatura

2.1. A cultura do arroz

O arroz é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, com uma produção anual de 672 milhões de toneladas em, aproximadamente, 150 milhões de hectares (FAO, 2013). É considerada a espécie de maior potencial de aumento da produção para o combate da fome no mundo (AZAMBUJA;

JUNIOR; JUNIOR, 2004). Portanto, nos países em desenvolvimento, o arroz mantém uma estreita relação com a segurança alimentar (IRRI, 2013).

No Brasil o arroz foi introduzido pelos imigrantes europeus no final do século XIX. As primeiras cultivares de porte baixo (modernas) foram semeadas no Rio Grande do Sul a partir de 1973, mas somente 10 anos após, com o lançamento de genótipos que combinavam alto potencial produtivo e boa qualidade dos grãos, passaram a ocupar áreas expressivas. Diferentemente das anteriores, essas cultivares pertencem à subespécie indica. Apresentam porte baixo, folhas eretas, alta capacidade de perfilhamento, alto potencial produtivo e grãos longo-finos (SOSBAI, 2012).

Os estados do Rio Grande do Sul (RS) e de Santa Catarina (SC) destacam-se no cenário nacional por serem os principais produtores do cereal (CONAB, 2015)

2.2. Irrigação na cultura do arroz

O Rio Grande do Sul destaca-se em relação aos demais estados brasileiros pelo elevado percentual de recursos hídricos disponíveis destinados à agricultura (83,5%) (NORONHA, 2006).

Grande parte da água destinada à agricultura no estado é utilizada pela lavoura arrozeira, que é cultivada, predominantemente, no sistema irrigado por inundação contínua. A lavoura de arroz ocupa cerca de 1,08 milhões de hectares, representando 39% da área brasileira, e produziu mais de 60% do arroz nacional, com uma produtividade média de 6,41 t ha⁻¹ (CONAB, 2015).

Pode-se dizer que a irrigação faz parte das práticas agronômicas que mais influenciam a produtividade do cultivo de arroz. Mantovani; Bernardo e Palaretti (2009) mencionam que, no caso da cultura de arroz irrigado, sua produtividade aumentou em 140% em relação à produtividade do arroz sequeiro.

A irrigação por superfície é o método mais antigo e o mais utilizado em todo o mundo. Conforme Loiola e Souza (2001) o método de irrigação por superfície predomina em duas regiões – Nordeste e Sul.

Conforme Bernardo; Soares e Mantovani (2009). Entre os sistemas de irrigação utilizados para a agricultura, a irrigação por superfície é a que apresenta uma menor eficiência e maior consumo de água.

De acordo com Walker (2003), dentre os componentes de um sistema de irrigação por superfície, destacam-se as fontes hídricas, as estruturas de condução, de medição, de controle e de derivação da água, as parcelas irrigadas e as estruturas de drenagem do excesso de água.

Na cultura orizícola o método de irrigação por inundação é amplamente empregado, o qual consiste na colocação de água durante um tempo determinado em compartimentos construídos no terreno denominados tabuleiros, que são limitados por diques e/ou taipas de diversas dimensões, a área dos tabuleiros pode variar.

Já como mencionado por Stone; Silveira e Moreira (2006) alguns benefícios da irrigação por inundação, tais como a diminuição do crescimento e desenvolvimento de plantas daninhas, funcionando como um mecanismo de controle; o controle da temperatura do solo, devido ao calor específico da água, produzindo um efeito termorregulador, fixação do nitrogênio atmosférico em consórcio com as algas verde-azuis, contribuindo para um maior controle da acidez do solo; economia na mão de obra; aumento da taxa fotossintética nas folhas mais baixas devido ao reflexo da luz na água.

Conforme Mahajan et al. (2009) a redução do uso da água nas lavouras de arroz, gera benefícios econômicos, através da redução de custos, e de danos ambientais, devido ao menor consumo de água na irrigação durante o ciclo da cultura. Uma alternativa é a sistematização da superfície do solo que propicia o uso da água de forma mais racional, reduzindo o consumo por unidade de área.

2.3. Solos de terras baixas

Os solos de terras baixas são encontrados em planícies de rios, lagoas e lagunas, tendo como característica comum a formação, em condições variadas, de deficiência de drenagem ou hidromorfismo (Pinto et al., 2004; Streck et al., 2008), sendo conhecidos também como solos de várzea.

No estado do RS, estão associados ao cultivo de arroz irrigado e ocupam extensas áreas com relevo variando de plano a suavemente ondulado. Embora inúmeras classes de solo de terras baixas satisfaçam a maior parte das exigências edáficas para a cultura do arroz irrigado, os Planossolos e os

Gleissolos se sobressaem, justamente por apresentarem as menores limitações e também por serem os de maior ocorrência (SOSBAI, 2014).

O manejo dos solos de terras baixas é de grande complexidade, tanto para as cultivares irrigadas quanto para as de sequeiro, tornando-se um desafio o conhecimento e entendimento de todas as reações físicas e químicas neles existentes para a adoção das melhores práticas produtivas e conservacionistas.

Os solos de terras baixas no RS compreendem uma área de 5,4 milhões de hectares (20%), onde cerca de 3 milhões (13%) contam com estrutura de irrigação por inundação (VEDELAGO et al., 2012).

2.4. Drenagem em terras baixas

A drenagem é o processo de remoção do excesso de água da superfície do solo e/ou do subsolo - possui duas formas básicas: drenagem superficial, que é a remoção do excesso de água da superfície do solo, para torná-lo adequado ao aproveitamento agrícola, e drenagem subsuperficial ou subterrânea, que remove o excesso de água do perfil do solo, com a finalidade de propiciar condições favoráveis de umidade, aeração e manejo agrícola. Esta drenagem é ineficiente na maioria dos solos de várzeas do Rio Grande do Sul, devido à sua baixa condutividade hidráulica. É através da melhoria da drenagem superficial que se pode dar melhores condições aos cultivos agrícolas neste ecossistema (SILVA; PARFITT, 2004).

Esta drenagem é realizada com pequenos drenos, executada normalmente com valetadeira ou sulcador tipo pé de pato, após da semeadura da soja, ou antes, da semeadura do arroz de forma a garanti-lhe a boas condições de drenagem na época da semeadura (Winkler et al., 2013).

Nas áreas com declives mais acentuados, também chamadas de áreas de várzeas dobradas, com depressões fundas e/ou largas ou em grande quantidade, o que as tornam difíceis de serem aterradas através do aplainamento, o sistema natural deve ser melhorado ligando-se as depressões por meio de drenos de parcela, que conduzam as águas até os drenos coletores. Dependendo do número de depressões (áreas problema) e da diferença de cotas destas em relação às áreas circundantes, o sistema poderá

exigir um número maior ou menor de drenos, bem como ter sua profundidade efetiva variável (SILVA; PARFITT, 2004).

2.5. Nível Laser na lavoura de arroz

Segundo Bisognin et al. (2013), a irrigação do arroz em superfície com desnível, necessita de barreiras para retenção de uma lamina de água, para isso são construídas taipas em curvas de nível, sendo que a diferença de cotas depende da inclinação do terreno.

Conforme a Brutti (2014), a construção das taipas, em curvas de nível, no sistema convencional de cultivo do arroz, ocorre, anualmente, logo após a semeadura. O desnível vertical, entre uma taipa e outra, pode variar de 0,05 a 0,15 m, dependendo do menor ou maior desnível do terreno. Intervalos menores podem ser utilizados em solos com superfícies mais planas, visando reduzir o tamanho dos quadros. Em casos especiais, os intervalos verticais podem ser maiores que 0,15 m, de forma que seja mantida condição necessária para que as máquinas e implementos sejam operacionalizadas.

A construção das taipas atualmente é realizada com a utilização de nível laser onde um emissor de raio laser fica instalado em uma base fixa, o qual, dependendo o equipamento, pode cobrir uma área de aproximadamente 700 metros de raio sem obstáculos. Após isso, a base fixa deverá ser movimentada e instalada em um novo ponto, para dar continuidade ao trabalho.

Além disso, o trator deve ser adaptado para ser instalada a régua com o receptor que irá receber o sinal enviado pela base laser, em muitos casos, nem capota este trator deve ter logo após a régua receber o receptor, ainda este deve ser ligado a um monitor que irá informar ao operador o caminho que ele deve seguir, se é para a esquerda ou para a direita, respeitando o nível no terreno, e até aqui, a lavoura estará somente com um simples risco no solo, devendo ainda, vir outro trator com uma entaipadeira acoplada, que irá efetivamente construir a taipa seguindo a marcação que o trator com o laser deixou, e geralmente, uma segunda passada de entaipadeira é feita para dar mais consistência a mesma (BISOGNIN, 2013).

Estas taipas devem apresentar um desnível que não supere os 3 centímetros em campos planos, e até 15 centímetros em campos com declividade elevada. É muito importante que as taipas sejam as mais baixas

possíveis (13 a 17 centímetros de altura), para que se possa passar sem problema por cima das taipas com os equipamentos (KRAEMER et al., 2005).

2.6. Sistema GNSS – RTK na lavoura de arroz

O termo Global Navigation Satellite System (GNSS) foi concebido em 1991, durante a 10ª Conferência de Navegação Aérea, quando a ICAO (International Civil Aviation Organization) reconheceu que a fonte primária de navegação aérea do século 21 seria provida pelo GNSS, incluindo mais do que apenas o posicionamento por satélite. Inclui conceitos que vão além do comumente utilizadas, como integridade, disponibilidade e continuidade dos serviços (SEEBER, 2003).

O GPS, GLONASS, Galileo e BeiDou, são os principais sistemas de posicionamento que compõe o GNSS. O GPS é mantido pelos EUA, o GLONASS pela República Russa, o Galileo pela União Europeia e o BeiDou pela China. O objetivo principal desses sistemas é proporcionar informações sobre a posição de qualquer ponto sobre a superfície da Terra (MONICO, 2008).

Atualmente, produtores estão adquirindo equipamentos de geotecnologias que utiliza receptores GNSS, com sistema de correção RTK (Real Time Kinematic). Essa tecnologia introduz a agricultura de precisão na lavoura arrozeira em várias atividades, entre elas: sistematização, drenagem, demarcação de taipas, adubação a taxa variada, semeadura e aplicação de defensivos, mapas de produtividades, entre outras.

No entanto, muitas aplicações obtêm grandes benefícios se as coordenadas são determinadas em tempo real, tais como: monitoramento, navegação, obras de engenharia (terraplenagem), locação e agricultura de precisão (MONICO, 2008). Nesse sentido, o posicionamento RTK torna-se muito interessante.

Como citado por Rocco (2009), os sinais RTK nada mais são que ondas de rádio que corrigem o sinal recebido pelo receptor do veículo, através da posição de uma base georreferenciada.

Para a demarcação de taipas por meio do sistema RTK, o processo se inicia com o levantamento planialtimétrico da área, determinando-se a altura de uma malha de pontos no campo, comumente entre 200 a 400 pontos por

hectare. Por meio de software específico, obtém-se o modelo digital de elevação (MDE) do terreno, e, de posse do MDE, são geradas as curvas de níveis do terreno com a equidistância vertical desejada. Então, considerando o raio de giro do conjunto trator-entaipadeira, as curvas de níveis são suavizadas e demarcadas no campo pelo trator com piloto automático. Este processo também inclui erro em dois momentos: na geração do MDE pelo processo de interpolação e na suavização das curvas de níveis (DALMOLIN, 2017).

2.7. Sistematização

A sistematização do solo consiste no processo de adequação da superfície natural do terreno de forma a transformá-lo num plano ou numa superfície curva organizada (PARFITT; SILVA; PETRINI, 2004a).

A sistematização dos solos de várzeas é uma prática que vem sendo utilizada mundialmente há mais de meio século, em função de seus vários benefícios, principalmente o de uniformizar a distribuição da água de irrigação (BRYE et al., 2003).

Ainda conforme os autores foram caracterizados os impactos da sistematização sobre a magnitude, variabilidade e distribuição espacial dos atributos físicos e biológicos do solo e avaliaram as relações entre esses atributos, utilizados para as culturas irrigadas de arroz e soja. Os autores concluíram que a sistematização afetou significativamente a magnitude e a variabilidade espacial dos atributos físicos e biológicos. Devido a isso é importante não realizar cortes profundos, maiores que 5 cm nos solos de terras baixas do RS.

Estudos mostram que o comportamento da cultura de milho em área sistematizada, nos diferentes sistemas de cultivo, em relação à magnitude dos cortes e/ou aterros. Os resultados mostraram que tanto a altura de planta como o rendimento de grãos do milho foram influenciados, sendo que ambos foram menores nos maiores cortes e maiores nos maiores aterros (PARFITT et al., 2004b).

Em estudo realizado por Reichert et al. (2008) com a finalidade de estudar a variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos de um solo classificado como Planossolo e da produtividade da soja em área de várzea sistematizada, os autores verificaram que a sistematização provocou aumento

da variabilidade espacial nos atributos do solo, refletindo-se na variação da produtividade de soja na área devido principalmente a variação dos seguintes atributos químicos e físicos: pH (H₂O), saturação por alumínio, manganês trocável, capacidade de troca de cátions e resistência à penetração.

Segundo Winkler (2013) nas terras baixas do Rio Grande do Sul, a sistematização é realizada, na maioria das vezes, sem declividade com o objetivo de cultivar arroz. Neste ambiente, são predominantes solos com baixa condutividade hidráulica devido à presença de um horizonte B, praticamente impermeável, perto da superfície.

Uma das principais características dos solos de terras baixas do Rio Grande do Sul, comumente cultivados com arroz irrigado, é que os mesmos apresentam um horizonte subsuperficial praticamente impermeável à água, o que possibilita o surgimento de zonas com armazenamento superficial (lagoas).

Mesmo nas áreas sistematizadas com scraper e controle a laser, devido ao acomodamento do solo após a execução, verificam-se zonas que apresentam algumas depressões. Outro motivo que pode ser considerado para o surgimento destas depressões é relacionado à precisão de operação (JAT et al., 2009). Estas imperfeições são indesejadas e prejudicam o manejo e da água tanto para a irrigação por superfície quando para a drenagem superficial (WALKER et al. 2003).

2.7.1. Sistematização por Raio Laser

É o método tradicionalmente utilizado para realizar a sistematização das áreas orizícolas do RS. Consiste em uma torre que pode estar no centro da área ou em uma lateral, com equipamento de raio laser acoplado no topo onde será registrada a cota média da área, a qual será a cota final do terreno, após sistematizado. O sistema possui também um painel de controle e um sistema de controle hidráulico, que realizam a subida e descida do equipamento (RICKMAN, 2002).

É determinado em cada tabuleiro o local da centróide, ou seja, o nível médio do tabuleiro, e demarcada a linha imaginária de corte e aterro. A seguir, o sistema informa as áreas de corte e aterro. Os equipamentos, como motoniveladora, plainas ou scraper serão providos de uma torre com acessórios adaptados com as lâminas de corte e de captação eletrônica com a

torre central, que comandará os equipamentos para cortar ou aterrar. As máquinas mais pesadas e de maior rendimento fazem o trabalho de arraste de terra.

O processo de sistematização, normalmente é executado com scraper controlado por Nivel Laser. No entanto, novos métodos utilizando GPS (Global Position System) vêm sendo testados e implementados em diversas partes do mundo em especial nos Estados Unidos e Austrália (WINKLER, 2013).

2.7.2. Sistematização por GNSS-RTK

Com o método que utiliza receptores GNSS (Global Navigation Satellite System) com correção RTK (Real Time Kinematic), novos modelos de sistematização são possíveis de serem adotados nas lavouras orizícolas do Rio Grande do Sul, como é o caso da sistematização com declividade variada (WINKLER, 2013).

Para a sistematização do terreno por meio do sistema GNSS-RTK, o processo se inicia com o levantamento planialtimétrico da área, determinando-se a altura de uma malha de pontos no campo, comumente entre 200 a 400 pontos por hectare. Por meio de software específico, obtém-se o modelo digital de elevação (MDE) do terreno, e, de posse do MDE, é realizado o projeto de sistematização.

Numa determinada área é possível realizar vários tipos de sistematização: plano sem declividade; plano com declividade; e segundo uma superfície curva com declividade variada. A escolha depende do tipo do relevo da área, bem como o sistema de produção planejado, ou seja, se quer rotação de culturas ou não. Ainda é possível sistematizar locais específicos da área se for convenientes (BUENO et al, 2017).

3. Capítulo 1 - Demarcação de taipas em lavouras de arroz irrigado: Nível laser versus GNSS-RTK

3.1. Introdução

O arroz é amplamente cultivado e o alimento básico de cerca de 3,5 bilhões de pessoas no mundo Muthayya et al. (2014). De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2016), 95% da população brasileira consome arroz, sendo que os estados do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC) cultivam anualmente aproximadamente 1,26 milhões de ha com produção próxima de 10 milhões de toneladas.

Na maior parte das lavouras do RS irrigadas por sistemas de inundação contínua são utilizadas taipas em nível, as quais são construídas a cada safra. De acordo com a sociedade sul-brasileira de arroz irrigado (SOSBAI, 2014), o manejo da água é realizado por gravidade dos quadros mais altos para a parte mais baixa da lavoura, através das taipas, as quais possuem diferença de altura variando entre 3 a 15 cm, dependendo da declividade do terreno.

De acordo com Mandal e Maity (2013), o sistema tradicionalmente utilizado nas operações orizícolas é o Nível Laser (NL), sendo as demarcações das taipas dependentes de recursos humanos e suas imprecisões.

A tecnologia que utiliza receptores do tipo Global Navigation Satellite System (GNSS), com sistema de correção Real Time Kinematic (RTK) vem sendo introduzida nas operações das lavouras de terras baixas (Eymgdio et al., 2017). Cabe ressaltar que, de acordo com Baio e Moratelli (2011), o sistema GNSS-RTK é amplamente utilizado na agricultura por garantir erros de no máximo 2,5 cm na vertical.

Os produtores rurais que estão utilizando o sistema GNSS-RTK, no cultivo da cultura do arroz, bem como os que venham a utilizar essa tecnologia, demandam informações técnico científicas a respeito das vantagens e desvantagens na utilização desta técnica. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi comparar o desempenho dos sistemas Nível Laser (NL) e GNSS-RTK aplicados na demarcação de taipas utilizadas na irrigação da cultura do arroz no estado do RS.

3.2. Metodologia

O trabalho foi realizado em uma área experimental de, aproximadamente, 27 ha pertencente a Granja Bretanhas S/A, localizada no município de Jaguarão – RS. O relevo da área é típica das lavouras de arroz da região litorânea do RS, sendo as coordenadas 53°12'7.200" W e 32°31'31.440" S.

Para comparar o desempenho na demarcação das taipas dos sistemas Nível Laser (NL) e GNSS-RTK a área experimental foi subdividida, em função da declividade, em três subáreas, denominadas como: i) plana (0,16%); ii) intermediária (0,36%); e iii) suavemente ondulada (1,3%). Em cada subárea foram estudadas quatro taipas (T1, T2, T3 e T4) para os dois sistemas de demarcação avaliados (NL e GNSS-RTK).

O comprimento total de taipas para as três subáreas avaliadas foi de 8 km para os sistemas NL e GNSS-RTK, sendo o desnível vertical entre as taipas de, respectivamente, 3, 6 e 9 cm para as subáreas plana, intermediária e suavemente ondulada, mantendo-se assim, conforme Furlani et al. (1995), uma lâmina média de irrigação entre 5 e 10 cm.

Na demarcação de taipas pelo sistema GNSS-RTK foram adotadas as recomendações de Aziz et al. (2009). Inicialmente determinou-se a altura de uma malha de pontos no campo. Seguindo recomendações de Rabelo (2011), no levantamento planialtimétrico da área, após a realização do traçado do perímetro, foi considerada uma malha de pontos 10 x 3 m, ou seja, o trator percorria linhas espaçadas regularmente de 10 m, sendo o registro da altura realizado pelo sistema GNSS-RTK em intervalos regulares de 3 m, totalizando assim 333 pontos por hectare.

Os dados obtidos por meio do levantamento planialtimétrico foram processados no software Farm Works® (2016), obtendo-se o modelo digital de elevação (MDE) da área, sendo geradas as curvas de níveis do terreno, com a equidistância vertical de 3, 6 e 9 cm.

Posteriormente, considerando o raio de giro de 7 m, do conjunto trator-entaipadeira, as curvas de níveis foram suavizadas no software e demarcadas as taipas no campo, utilizando-se trator com piloto automático. Este processo de demarcação inclui erros, como na interpolação dos pontos para geração do MDE e a suavização das curvas de níveis.

Concomitantemente à demarcação das taipas obtidas com o software, foi realizado o levantamento planialtimétrico da taipa real, a cada 3 m no sentido longitudinal, obtendo-se assim as diferenças na altura entre a taipa obtida com o software e a taipa real.

Na demarcação de taipas no sistema NL, seguiu-se as recomendações de Pincioli et al. (2015). Conforme recomendações de Rickman (2002), o emissor laser (Spectra Precision modelo GL710), com alcance operacional de 460 m, foi instalado em uma base fixa. O monitor e o receptor (Laser plane modelo D2-12/24) foram instalados no trator.

Durante a demarcação da taipa real pelo sistema NL foi necessário, para manter a mesma cota de cada taipa, realizar a correção do percurso, sendo esta executada pelo tratorista, o que pode gerar um erro na demarcação da taipa.

Para aferir a precisão da demarcação da taipa no sistema NL, enquanto o trator demarcava a taipa real no terreno, foi registrada, concomitantemente, com o sistema GNSS-RTK, a altura dos pontos no terreno a cada 3 m no sentido longitudinal da taipa, sendo admitindo um raio de giro do trator como sendo igual a 7 m.

Cabe ressaltar ainda que possíveis erros ocorridos, como correções dos sinais dos satélites para a obtenção das cotas das taipas demarcadas nos sistemas NL e GNSS-RTK foram os mesmos.

Conforme Santos et al. (2017), erros de posicionamento pelo GNSS-RTK são inevitáveis, independentemente do tipo de posicionamento adotado. Ainda, de acordo com Baio e Moratelli (2011), o posicionamento por sinal GNSS-RTK, garante erros muito planialtmétricos pequenos, em torno de 2,5 cm, principalmente pelo fato de requerer o uso de base, com coordenadas conhecidas, próximo ao trator equipado com antena e receptor, o que aumenta consideravelmente o nível de precisão no posicionamento.

Para determinar o desempenho relativo aos dois sistemas de demarcação de taipas estudados (NL *versus* GNSS-RTK) foram realizadas análises do comportamento vertical e horizontal das taipas, bem como uma análise espacial da lâmina de água aplicada proporcionada pelas taipas em cada um dos sistemas.

O comportamento vertical foi verificado pela análise das cotas obtidas na coleta de pontos a cada três metros no sentido longitudinal de cada taipa. Para cada sistema foi determinada a cota média (m), diferença de alturas entre as taipas (cm), amplitude máxima (cm), sendo a distancia em cm entre a cota mais alta e a mais baixa no percurso da taipa, e o desvio padrão entre os valores obtidos.

O comportamento horizontal das taipas, para cada sistema (NL *versus* GNSS-RTK), foi obtido por meio da análise espacial do mapa da área, onde foi analisado o comprimento de cada taipa (m), o afastamento médio (m), e distancia máxima (m) entre a taipa e a curva de nível da mesma altura.

Na verificação do erro de demarcação foi considerada como sendo a irrigação correta aquela na qual as taipas apresentaram desnível vertical proposto no projeto, sendo de 3,6 e 9 cm.

Para se analisar a distribuição da lâmina de irrigação, a altura da lâmina de água foi dividida em três classes: lâmina proposta (LP), lâmina superior a proposta (LSP) e lâmina inferior a proposta (LIP). Sendo que a irrigação adequada ocorre em LP, quando a equidistância vertical entre as taipas é atingida.

Considerando que na subárea plana (0,16%) o valor do desnível entre as taipas é de 3 cm, quando a altura da lâmina de água na taipa inferior do quadro for de 10 cm, na taipa superior deveria ser igual a 7 cm. Todo valor da altura de lâmina superior a 10 cm foi considerado LSP e todo valor abaixo de 7cm foi considerado LIP, embora se saiba que o arroz permite maior flexibilidade na altura da lâmina de água (FURLANI et al., 1995; SVITTARO et al., 2010), entretanto na prática se adota esses valores devido a imperfeições no terreno.

Considerando que na subárea intermediária (0,36%) o valor do desnível entre as taipas é de 6 cm, logo, quando a altura da lâmina de água na taipa inferior do quadro for de 10 cm, na taipa superior deveria ser igual a 4 cm. Todo valor da altura de lâmina superior a 10 cm foi considerado LSP e todo valor abaixo de 4 cm foi considerado LIP. Para subárea suavemente ondulada (1,3%) esses valores são, respectivamente, 9 cm, 10 cm e 1 cm, sendo qualquer valor inferior a 1 cm considerado de LIP.

3.3. Resultados e discussão

Os resultados dos dois sistemas de demarcação de taipas estudados (NL e GNSS-RTK) relacionados à análise vertical são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Comportamento vertical das taipas demarcadas pelos sistemas NL e GNSS-RTK em função da declividade do terreno.

Taipas	Nível a Laser (NL)					GNSS-RTK				
	T 1	T 2	T 3	T 4	M	T 1	T 2	T 3	T 4	M
Subárea Plana (declividade 0,16%)										
CM (m)	11,425	11,425	11,353	11,350	----	11,425	11,391	11,366	11,285	----
DA (cm)	----	0,0	7,2	0,3	2,5	----	3,5	2,5	2,1	2,7
AMV (cm)	12,0	12,9	18,0	11,4	13,6	11,4	9,7	10	6,0	9,3
DP (cm)	2,4	2,4	3,0	2,3	2,5	2,1	1,8	2,1	1,5	1,9
Subárea Intermediária (declividade 0,36%)										
CM (m)	10,939	10,85	10,789	10,737	----	10,939	10,887	10,828	10,771	----
DA (cm)	----	8,8	6,2	5,2	6,7	----	5,2	5,9	5,7	5,6
AMV (cm)	12,8	13	11,8	10,6	12,1	8,5	11,4	13	12,3	11,3
DP (cm)	2,4	2,2	2,0	2,0	2,2	1,6	1,9	2,0	2,1	1,9
Subárea Suavemente ondulada (declividade 1,3%)										
CM (m)	10,538	10,456	10,357	10,255	----	10,538	10,46	10,37	10,273	----
DA (cm)	----	8,2	9,9	10,2	9,4	----	7,7	9,0	9,7	8,8
AMV (cm)	17,1	23,3	22,6	22,2	21,3	16,6	13,2	12,0	14,6	14,1
DP (cm)	3,4	4,0	4,0	4,4	4,0	2,7	2,4	2,2	3,0	2,6

M: média; CM: cota média das taipas; DA: diferença de altura entre taipas; AMV: amplitude máxima vertical (diferença entre a altura máxima e mínima numa mesma taipa); DP: desvio padrão das cotas obtidas a cada 3 metros longitudinais por taipa.

Pode-se observar na Tabela 1 que, para condições médias, as diferenças de alturas entre taipas (DA) demarcadas no sistema NL são de 2,5; 6,7 e 9,4 cm, e no sistema GNSS-RTK são de 2,7; 5,6 e 8,8 cm para declividades de 0,16%, 0,36% e 1,3%, respectivamente. Considerando que, de acordo com o projeto executado, estas diferenças deveriam ser de 3, 6 e 9 cm,

respectivamente, para as mesmas declividades, os valores médios observados na DA para o sistema GNSS-RTK foram mais próximos do projetado.

Cabe ressaltar que nestas diferenças estão incluídos os erros na execução e no processo de suavização das taipas, sendo que no sistema NL foi observado um maior erro, com valor máximo igual a 7,2 cm (Taipa T3).

A altura da lâmina de água utilizada, a qual esta diretamente relacionada com a diferença de altura entre taipas (DA), em sistemas de irrigação por inundação pode comprometer o desenvolvimento das plantas de arroz. Este fato foi observado por Silva e Parfitt (2004) que verificaram redução na produção de grãos de arroz mediante ao uso de lâminas de água de 8 e 18 cm; não ocorrendo o mesmo com lâminas de 4 cm.

Rosso et al. (2016) observaram que lâminas de água variando entre 1 e 6 cm resultam em maiores valores do número de panículas por m². Além disso, Furlani Junior et al. (1995) também encontraram os maiores valores de número de panículas por m² em menores alturas de lâmina de água.

Observa-se na Tabela 1 foi que, para o sistema NL, na subárea denominada Plana (declividade 0,16%), duas taipas (T1 e T2) que deveriam ter 3 cm de diferença de altura (DA) apresentaram alturas iguais (11,425). Isto pode ser explicado devido ao fato que, em áreas planas, uma pequena diferença vertical pode representar uma grande distância horizontal, e o sistema NL em parte é dependente de uma análise visual do terreno pelo próprio operador do trator.

Ainda que tenham sido observadas duas taipas de mesma altura média (T1 e T2), isto não ocasiona em problema de irrigação no quadro formado entre estas duas taipas. Entretanto, no sistema NL, na subárea plana (declividade 0,16%), no quadro formado entre as taipas T2 e T3, a diferença foi de 7,2 cm (Tabela 1), o qual está fora do preconizado no projeto, que é igual a 3 cm para esta declividade, ocasionando uma distribuição desuniforme da lâmina de água de irrigação.

Ainda conforme observado na Tabela 1, a amplitude máxima vertical (AMV) observada na taipa T2 foi de 23,3 cm (declividade 1,3%), este fato pode ser atribuído à suavização da taipa e/ou a eventuais irregularidades do terreno. Amplitudes superiores a 20 cm podem comprometer o desempenho da irrigação, fato este observado por Frantz et al. (2015), os quais afirmam que

taipas em sistemas de irrigação por inundação de lavouras de arroz possuem altura média de 20 cm.

No sistema NL os valores médios de AMV foram superiores aos observados no sistema GNSS-RTK para todas as declividades estudadas. Este fato foi mais evidenciado na subárea suavemente ondulada (declividade 1,3%), onde esta diferença (21,3 - 14,1 cm) foi de 7,2 cm. Na subárea plana (declividade 0,16%) esta diferença apresentou valor igual a 4,3 cm e na subárea intermediária (declividade 0,36%) esta diferença foi de 0,8 cm.

O desvio padrão (DP) do comportamento vertical das taipas (Tabela 1) foi maior na subárea suavemente ondulada (declividade de 1,3%), independentemente do sistema de demarcação utilizado (NL e GNSS-RTK), este fato pode ser atribuído ao caso em que uma pequena variação horizontal pode ocasionar uma grande variação vertical.

Observou-se ainda que no sistema NL o valor médio de DP (2,2 cm) foi menor para a subárea intermédia (declividade de 0,36%). Comparado este valor com o valor médio do DP (1,9 cm) obtido no sistema GNSS-RTK, para mesma declividade, foi verificado uma diferença igual a 0,3 cm.

Para subáreas plana (declividade de 0,16%) e suavemente ondulada (declividade de 1,6%), os valores médios de DP (1,9 e 2,6 cm, respectivamente) foram menores para demarcação por meio do sistema GNSS-RTK, quando comparados com os valores de DP (2,5 e 4,0 cm, respectivamente) obtidos pelo sistema NL, sendo a influência da declividade minimizada nestas circunstâncias.

Os resultados dos dois sistemas de demarcação de taipas estudados (NL e GNSS-RTK) relacionados à análise horizontal são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Comportamento horizontal das taipas demarcadas pelos sistemas Nível a Laser (NL) e GNSS-RTK em função da declividade do terreno.

Taipas	Nível a Laser (NL)					GNSS-RTK				
	T 1	T 2	T 3	T 4	M	T 1	T 2	T 3	T 4	M
Subárea	Plana (declividade 0,16%)									
CT (m)	655	613	1000	687	739	565	541	648	722	619
DM (m)	8,4	15,5	18,0	9,5	12,8	4,1	4,2	0,5	4,6	3,3
AMH (m)	58,7	45,1	89,2	41,2	58,5	24,9	20,2	26,3	32,8	26,1
Subárea	Intermediária (declividade 0,36%)									
CT (m)	736	701	674	636	687	689	672	644	635	660
DM (m)	8,7	2,8	2,6	3,2	4,3	1,5	0,4	0,5	0,4	0,7
AMH (m)	64,6	13,2	22,2	17,0	29,3	12,0	10,3	14,7	3,1	10,0
Subárea	Suavemente ondulada (declividade 1,3%)									
CT (m)	660	662	647	643	653	605	657	640	643	636
DM (m)	2,2	2,0	2,4	2,1	2,2	0,4	0,4	0,1	0,0	0,2
AMH (m)	7,1	8,8	5,3	6,9	7,0	4,3	9,1	2,3	1,7	4,4

M: média; CT: comprimento das taipas; DM: deslocamento médio; AMH: amplitude máxima na horizontal.

Pode-se observar na Tabela 2 que os comprimentos das taipas (CT) demarcadas pelo sistema NL foram 16,2%, 3,9% e 2,6% maiores que as taipas demarcadas para o sistema GNSS-RTK para, respectivamente, as declividades de 0,16% (plana), 0,36% (intermediária) e 1,3% (suavemente ondulada), constatando-se que a declividade influencia no comprimento das taipas.

Em relação aos valores obtidos de deslocamento médio (DM) e amplitude máxima horizontal (AMH) também foi verificado um comportamento similar ao observado no comprimento da taipa (CT), ou seja, o sistema GNSS-RTK apresentou melhor desempenho, quando comparado ao sistema NL, para as três declividades avaliadas, principalmente para condições de terrenos planos (declividade 0,16%).

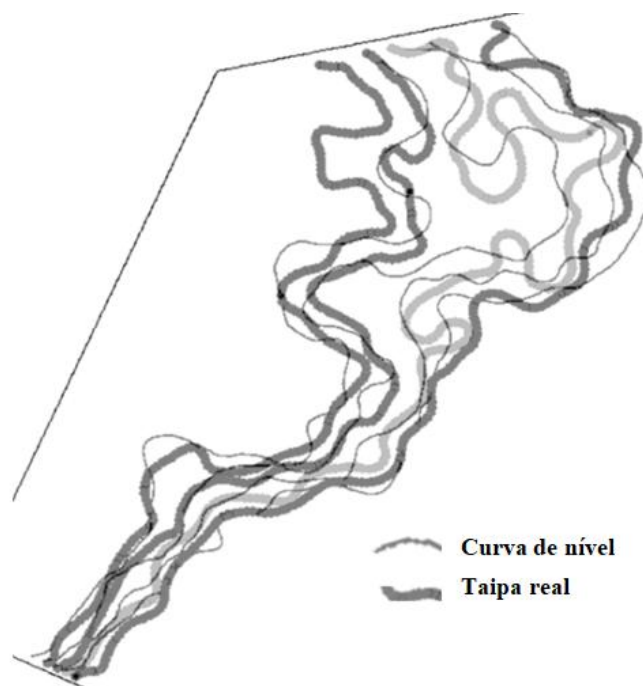
Estes resultados podem ser melhores observados na Figura 1, onde é apresentado o modelo digital de elevação (MDE) da área estudada bem como as subáreas plana, intermediária e suavemente ondulada (Figura 1A), as taipas

e as curvas de nível no sistema NL na zona plana, declividade 0,16% (Figura 1B) e no sistema GNSS-RTK zona plana, declividade 0,16% (Figura 1C).

A.



B.



C.

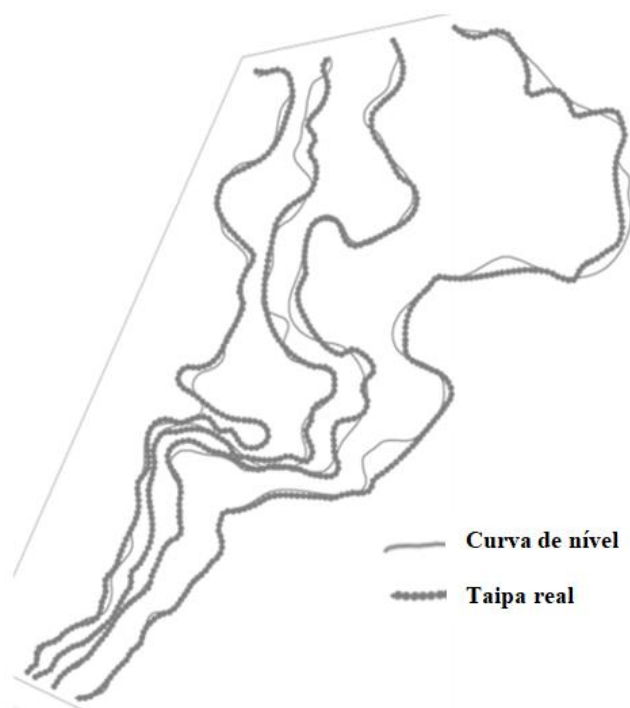


Figura 1. Área experimental com as três zonas (A); taipas e curvas de nível no sistema NL (B) da zona plana; taipas e curva de nível no sistema GNSS-RTK (C) da zona plana.

Observa-se na Figura 1A que quanto maior a declividade do terreno mais próximas se encontram as curvas de nível projetadas pelo software Farm Works®.

Na Figura 1B, a qual relaciona as curvas de nível projetadas pelo software e as taipas reais demarcadas pelo sistema NL, é possível observar o deslocamento médio (DM) horizontal da taipa real em relação a curva de nível, que, de acordo com a Tabela 2, foi igual a 12,8 m. Este resultado, quando comparado com o sistema GNSS-RTK (Figura 1C), apresentou um valor superior de DM horizontal ($12,8 > 3,3$ m), comprovado na Tabela 2, sendo possível inferir uma melhor precisão do sistema GNSS-RTK na demarcação de taipas.

Na Tabela 3 são observados os resultados referentes a análise da distribuição da lâmina de irrigação resultante da demarcação de taipas pelos sistemas Nível Laser (NL) e pelo sistema GNSS-RTK em função da declividade do terreno.

Tabela 3 - Análise da irrigação resultante da demarcação de taipas pelos sistemas Nível Laser (NL) e GNSS-RTK em função da declividade do terreno.

Sistema	Nível Laser (NL)				GNSS-RTK			
DLI	Q1-2	Q 2-3	Q 3-4	M	Q1-2	Q 2-3	Q 3-4	M
Subárea	Plana (declividade 0,16%)							
LSP (%)	62,5	8,0	38,0	36,2	1,1	5,0	0,5	2,0
LP (%)	35,2	31,9	32,4	33,2	90,3	91,1	94,5	92,0
LIP (%)	2,3	60,1	29,6	30,7	8,6	4	4,9	6,0
AT (ha)	0,88	1,63	1,08	----	0,93	1,01	1,82	----
Subárea	Intermediária (declividade 0,36%)							
LSP (%)	5,5	11,5	17,7	11,6	3,4	2,9	0	2,1
LP (%)	79,1	82,1	77,4	79,5	96,6	97,1	100	97,9
LIP (%)	15,4	6,4	4,8	8,9	0	0	0	0
AT (ha)	0,91	0,78	0,62	----	0,88	0,7	0,53	----
Subárea	Suavemente ondulada (declividade 1,3%)							
LSP (%)	35,3	22,6	21,1	26,3	11,3	8,3	9,8	9,8
LP (%)	61,1	67,7	63,6	64,1	88,7	91,7	90,2	90,2
LIP (%)	2,9	9,7	15,2	9,3	0	0	0	0
AT (ha)	0,34	0,31	0,33	----	0,53	0,48	0,41	----

M: média; DLI: distribuição da lâmina de irrigação; Q1-2: Quadro formado entre a taipa 1 e a taipa 2; Q2-3: Quadro formado entre a taipa 2 e a taipa 3; Q3-4: Quadro formado entre a taipa 3 e a taipa 4; LSP: lâmina superior à lâmina proposta; LP: lâmina proposta; LIP: lâmina inferior à lâmina proposta; AT: área total.

Em relação à distribuição da lâmina de irrigação (Tabela 3), pode ser observado que para o sistema GNSS-RTK o valor médio percentual da lâmina proposta (LP), para as três declividades avaliadas, foi de: 92,0% (zona plana), 97,9%, (zona intermediária) e 90,2% (zona suavemente ondulada). O que permite inferir, na média das três zonas avaliadas, mais de 90% da área irrigada recebeu a lâmina de água proposta.

Entretanto, no sistema NL (Tabela 3), o valor médio percentual da lâmina proposta (LP), para as três declividades avaliadas, foi de: 33,2% (zona plana), 79,5%, (zona intermediária) e 64,1% (zona suavemente ondulada). Neste caso, pode-se observar que na demarcação de taipas com NL uma porcentagem menor, quando comparado com o sistema GNSS-RTK, recebeu uma lâmina proposta (LP) média inferior, e, conseqüentemente, uma maior demanda de água para a mesma área irrigada.

Cabe ressaltar que na demarcação de taipas com sistema NL, para zona plana (declividade 0,16%), apenas 33,2% da área foi irrigada com a LP, sendo este valor 2,8 vezes menor que o obtido com o sistema GNSS-RTK (que foi

92,0%). Neste caso, pode-se afirmar que o volume de água de lavouras arrozeiras, em zonas planas, como ocorre na região sul do Rio Grande do Sul, pode ser minimizado com a utilização de sistemas GNSS-RTK.

Para a zona intermediária (declividade 0,36%), o sistema GNSS-RTK também apresentou um melhor desempenho de LP que o sistema NL (Tabela 3). Pode-se observar que no sistema GNSS-RTK, a LP foi de 96,6%, 97,1% e 100% para os quadros Q1-2, Q2-3 e Q3-4, respectivamente. O que permite inferir que, no sistema GNSS-RTK, a qualidade de distribuição da lâmina de irrigação dentro do quadro foi praticamente igual ao projetado e superior aos valores obtidos pelo sistema NL, que foram iguais a, respectivamente, 79,1% (Q1-2), 82,1% (Q2-3) e 77,4% (Q3-4).

Quanto a lâmina superior a proposta (LSP) (Tabela 3), pode-se observar para o sistema NL o valor médio percentual da LSP para as três declividades avaliadas de 36,2% (zona plana), 11,6%, (zona intermediária) e 26,3% (zona suavemente ondulada) já para o sistema GNSS-RTK esses valores foram de 2,0% (zona plana), 2,1%, (zona intermediária) e 9,8% (zona suavemente ondulada), sendo a maior diferença na zona plana (34,2).

Em relação a lamina inferior a proposta (LIP), percebe-se um comportamento semelhante ao LSP. Sendo que para o sistema GNSS-RTK nas zonas intermediária e suavemente ondulada, esses foram nulos.

Sendo assim, a utilização do sistema GNSS-RTK permitiu aumentar a equidistância vertical entre taipas, e, conseqüentemente, minimizar os custos de implementação de lavouras arrozeiras, visto que a confecção das taipas gera custo, e, ainda, quanto menor a quantidade de taipas mais eficientes tendem a ser as operações de semeadura, aplicação de fertilizantes e herbicidas, as quais são realizadas antes do início da irrigação da lavoura de arroz (Parfitt et al., 2017).

Em geral, o sistema GNSS-RTK apresentou melhor desempenho nos critérios adotados, independente da declividade do terreno. Sendo, na subárea de declividade intermediária, a menor diferença constatada entre os dois métodos avaliados (NL e GNSS-RTK).

3.4. Conclusão

1. As taipas demarcadas pelo sistema GNSS-RTK apresentam maior precisão que as taipas demarcadas pelo sistema NL, principalmente na zona plana (declividade 0,16%).

2. Na zona plana (declividade de 0,16%) o sistema de demarcação GNSS-RTK permitiu diminuir o número de taipas em uma mesma área, aumentar a eqüidistância vertical entre taipas, ou ainda diminuir a altura das mesmas.

3. O comprimento das taipas (CT) para todas as zonas é menor no sistema GNSS-RTK

4. Capítulo 2 - Avaliação de modelos de sistematização com declividade variada nas terras baixas do Rio Grande do Sul

4.1. Introdução

As terras baixas do Rio Grande do Sul (RS) além de possuírem relevo predominantemente plano são constituídas por solos rasos (em torno de 40cm) com baixa condutividade hidráulica, isto faz com que nesse ecossistema a deficiente drenagem natural seja uma de sua característica marcantes Parfitt et al. (2017).

A sistematização é uma pratica agrícola utilizada para corrigir as irregularidades da superfície do solo, facilitando a irrigação e drenagem superficial, tornando a área mais eficiente para o manejo das atividades agrícolas de acordo com Brye et al. (2006). Assim, no ambiente de terras baixas a sistematização do terreno se constitui num caminho viável para a melhoramento da drenagem superficial sendo a declividade da superfície seu principal indicador (Winkler et al., 2018). Porém, conforme descrito por Aquino et al. (2015) a sistematização com cortes excessivos (maiores de 15 cm) em solos com o horizonte superficial raso pode ocasionar efeitos negativos, e ainda conforme Cazanescu et al. (2010) movimentos altos de solo pode gerar camadas superficiais inférteis.

A sistematização desde 1970 é realizada com controle de Raios Laser que permite sistematizar em plano com ou sem declividade, portanto com declividade uniforme em toda a área. Nos últimos anos com o surgimento do sistema que utiliza receptores Global Navigation Satellite System (GNSS), com correção Real Time Kinematic (RTK) é possível implantar no campo qualquer tipo de superfície já que o controle passou a ser pontual (x,y,z) com precisão abaixo do centímetros (Santos et al. 2017)

Sendo assim, conforme Parfitt et al. (2017) o método de sistematização com declividade variada a qual utiliza o sistema GNSS/RTK, pode ser uma alternativa para se melhorar a conformação do relevo das áreas arroseiras por apresentar menores movimentações de solo, menor impacto ambiental e consequentemente, custo de execução mais baixo. A melhoria da drenagem

possibilita a semeadura do arroz em época mais adequada conforme Frantz et al. (2015) e beneficia a cultura da soja, que é sensível ao encharcamento.

O objetivo deste trabalho foi avaliar dois modelos de sistematização com declividade variada, um visando a drenagem e o outro a irrigação em sete áreas típicas de terras baixas do Rio Grande do Sul (RS).

4.2. Metodologia

Foram utilizadas neste estudo sete áreas experimentais pertencentes, de acordo com Terres et al. (1999) a região Litoral Sul do RS, sendo o relevo típico da região predominantemente plano, com rugosidade ao nível de micro relevo.

As sete áreas estudadas são predominantemente unidades de lavoura de arroz, tendo tamanho variável entre 7 e 26 ha. Cabe ressaltar que não se considerou a subdivisão das sete áreas avaliadas, por considerar que esta prática pode causar problemas de manejo em lavouras do arroz, ainda que a subdivisão seja uma prática comum adotada por produtores que utilizam o sistema Nível Laser (NL), visto que esta prática reduz o movimento de solo na sistematização.

Seguindo metodologia descrita por Aziz et al. (2009), nas sete áreas avaliadas foram realizados o levantamento planialtimétrico, sendo, para isso, utilizado um trator equipado com um conjunto contendo um monitor, uma antena receptora do tipo GNSS e uma base RTK. Após o levantamento planialtimétrico das sete áreas, os dados foram inseridos no software WMform®, sendo gerado o Modelo Digital de Elevação (MDE) da superfície original de cada uma das sete áreas estudadas.

Foram elaborados dois projetos de sistematização das áreas, sendo eles: i) modelo 1: declividade variada visando a drenagem (DVD); e ii) declividade variada visando a irrigação (DVI). Para isso, partiu-se de um modelo com declividade uniforme (DU), considerado como testemunha. Cabe ressaltar que, de acordo com Gamero e Benez (1990), o valor da relação entre corte/aterro (fator de empolamento) utilizada para os três modelos e as sete áreas avaliadas foi de 1,2.

Tradicionalmente, modelos com DU representam a melhor opção de sistematização possível para execução com o sistema Nível Laser (NL). Ressalta-se que o sistema NL permite a execução somente com declividade uniforme, com ou sem declividade da área sistematizada, ou seja, no plano horizontal.

O modelo de sistematização DU foi projetado no software WMform® por meio do ícone *Land Levelling*, sendo escolhida a opção *Best Fit*, a qual garante que o movimento de solo seja sempre o menor possível.

Os modelos de sistematização com declividade variada, ou seja, modelos os quais a declividade, em qualquer parte do terreno, após sistematização, pode variar em qualquer magnitude, porém, respeitando um sentido pré-estabelecido, foram utilizados visando a drenagem (DVD) e a irrigação (DVI) das áreas avaliadas.

No modelo de sistematização DVD a declividade será, em qualquer ponto de área, igual ou superior à declividade mínima fixada, o que, na prática, significa o fim das depressões no relevo. Neste modelo, a direção e a magnitude da declividade podem ser totalmente independentes, embora tenha sido fixada neste estudo uma magnitude mínima da declividade.

O modelo de sistematização DVD foi realizado no software WMform®, utilizando o ícone *Drainage*, com quatro declividades mínimas, sendo elas, 0,0%, 0,025%, 0,05% e 0,1%. Cabe ressaltar que quanto menor a declividade mínima, menor será a movimentação do volume do solo. Entretanto, em declividades mínimas iguais a zero, ou próximas, corre-se o risco de áreas com pontos de armazenamento superficial de água. Ainda, de acordo com Winkler et al. (2018), declividades próximas a 0,1% melhoram os efeitos da drenagem em terras baixas no RS.

O modelo de sistematização variada DVI foi também realizado com o auxílio do software WMform®, utilizando o ícone *Subarea*, e as declividades mínimas de 0,025%, 0,05% e 0,1%. O sentido da declividade utilizado no modelo DVI foi o mesmo utilizado no modelo DU (testemunha), por meio do ícone “Best Fit” do software WMform®, pois é o sentido que apresentou menor movimento de solo.

A comparação do desempenho entre os modelos de sistematização DU, DVD e DVI foram avaliadas pelos impactos sobre: i) volume de solo

movimentado, ii) corte máximo em 99% da área (degradação do solo), iii) comprimento de taipas, e iv) número de taipas. Cabe ressaltar que no projeto das taipas realizados por meio do software considerou-se o raio de giro de 7m, por ser o valor prático mais utilizado em lavouras de arroz entaipadas com o sistema GNSS/RTK.

4.3. Resultados e Discussão

4.3.1. Áreas experimentais

Na Tabela 4 são apresentadas as características das sete áreas experimentais originais avaliadas neste estudo, com as seguintes características: i) área (superfície), ii) comprimento de taipas, iii) número de taipas (demarcas com 5 cm de desnível entre si), iv) área total, e v) número de depressões.

A área total e o número de depressões não foram considerados na discussão dos resultados obtidos pelos modelos de sistematização estudados (DU, DVD e DVI). O comprimento de taipas (CT) médio, demarcadas com desnível de 5 cm, foi de 9,60 km com valor máximo de 12,69 km e mínimo de 4,49 km. Foram observadas em média 38 taipas (NT), sendo o valor máximo igual a 55 taipas e o valor mínimo de 24 taipas. A área de depressões (AD) média e número de depressões (ND) médio a serem aterradas foram de, respectivamente, 1,6 ha e 10,7 depressões, sendo seus respectivos valores máximos e mínimos iguais a 3,6 ha e 14 depressões, e 0,34 ha e 5 depressões.

Tabela 4 – Características das sete áreas experimentais originais.

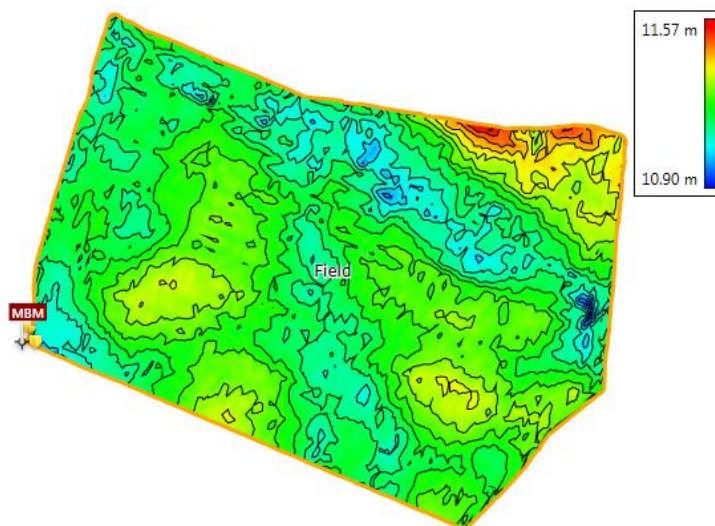
Área	Área (ha)	CT (km)	NT	AD (ha)	ND
1	13,09	8,04	32	1,15	7
2	25,97	12,69	55	3,13	15
3	25,99	11,43	37	0,89	14
4	6,67	6,35	35	0,34	9
5	6,97	4,49	24	0,35	9
6	23,34	7,41	42	1,71	16
7	16,31	9,03	41	3,62	5
Média	16,90	9,60	38	1,60	10,7

Comprimentos de taipas (CT); Número de taipas (NT); Área total das depressões (AD); Número de depressões (ND).

4.3.2 Área experimental 1: efeito da sistematização dos modelos DU, DVD e DVI sobre o relevo

Na Figura 2A pode ser observada a área experimental 1 em sua forma original, e na Figura 2B a área experimental 1 após a sistematização do terreno realizada pelo modelo DU.

A.



B.

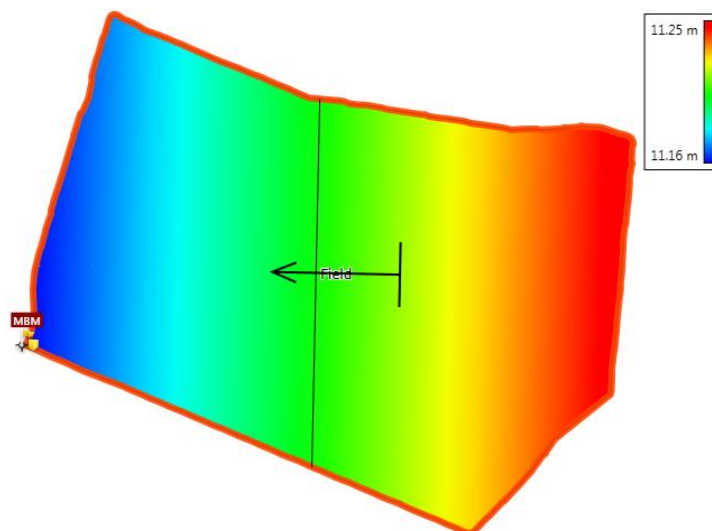


Figura2 - Modelo digital de elevação original da área experimental 1 (A) e área experimental 1 após a sistematização no modelo de declividade uniforme (B), e suas respectivas curvas de níveis com 5 cm de desnível entre si.

Ainda que a superfície original da área experimental (Figura 2A) apresente irregularidades a nível de micro relevo, esta área pode ser considerada plana, pois apresenta uma diferença de apenas 0,67 m entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo (11,57 m – 10,90 m). Cabe ressaltar que esta diferença (0,67 m) é uma característica das áreas de terras baixas do RS, onde, de acordo com Parfitt et al. (2004), a sistematização é uma prática recomendável.

Observa-se ainda na Figura 2A que quando uma mesma curva de nível se fecha duas situações opostas podem ocorrer, sendo elas: i) formação de uma coroa, ou seja, zona mais alta que o entorno (zona escura na Figura 2A); e ii) formação de uma depressão, ou seja, armazenamento superficial de água (zona clara na Figura 2A), sendo este comportamento também observado por Winkler et al. (2018).

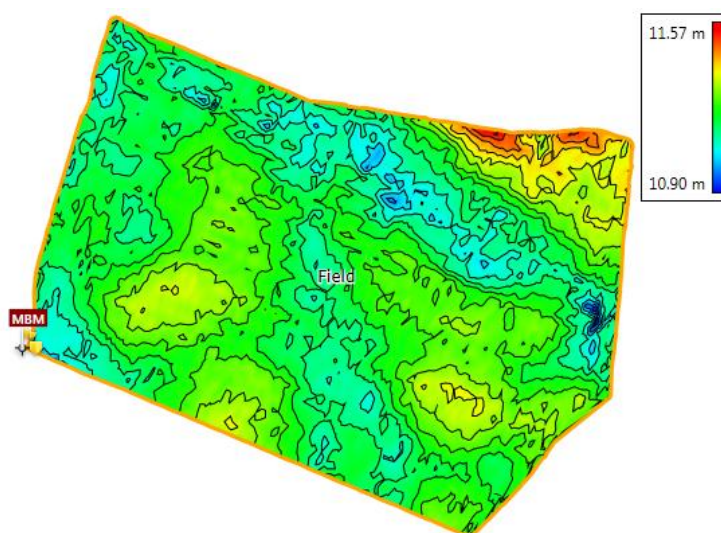
Após a sistematização da área experimental 1 podemos observar uma superfície plana com declividade uniforme (Figura 2B). A curva de nível assume o comportamento de uma reta, e, neste caso, a taipa coincide com a própria curva de nível, em função de não haver a suavização da curva de nível.

No caso específico da área experimental 1 há apenas uma curva de nível, pois a diferença entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo foi menor que 0,1 m. O modelo de sistematização considerado nesta avaliação (modelo

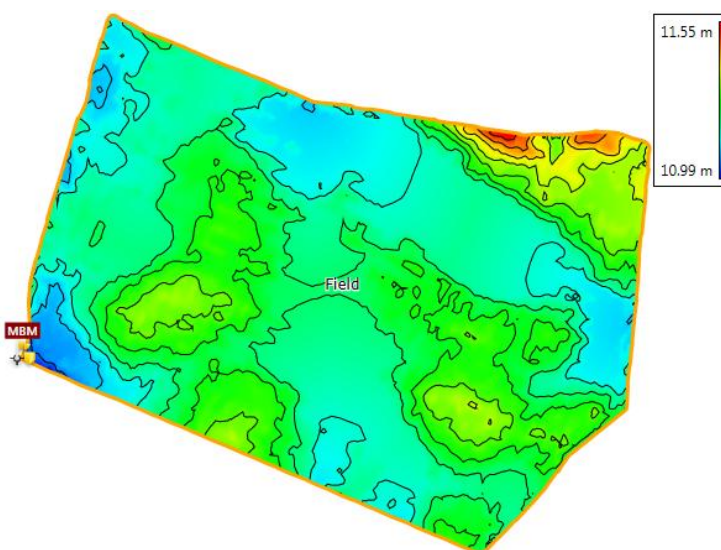
DU) é o único que pode ser executado com o sistema Nível Laser (NL), em relação aos modelos avaliados neste trabalho, DVD e DVI, os quais só podem ser executados por meio do sistema GNSS/RTK.

Na Figura 3 pode ser observado: o MDE da área experimental 1 original (Figura 3A), o MDE após a aplicação do modelo de declividade variada visando drenagem (DVD) com curvas de nível com 5 cm de desnível entre si (Figura 3B), as taipas sobre a superfície original com 5 cm de desnível entre si (Figura 3C) e as taipas sobre a superfície DVD com 5 cm de desnível entre si (Figura 3D).

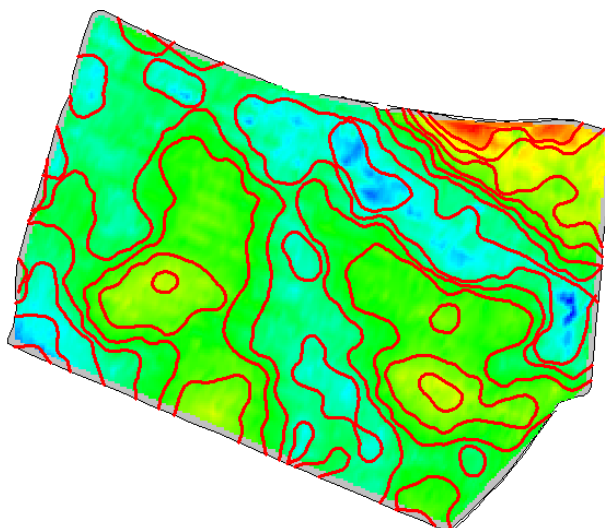
A.



B.



C.



D.

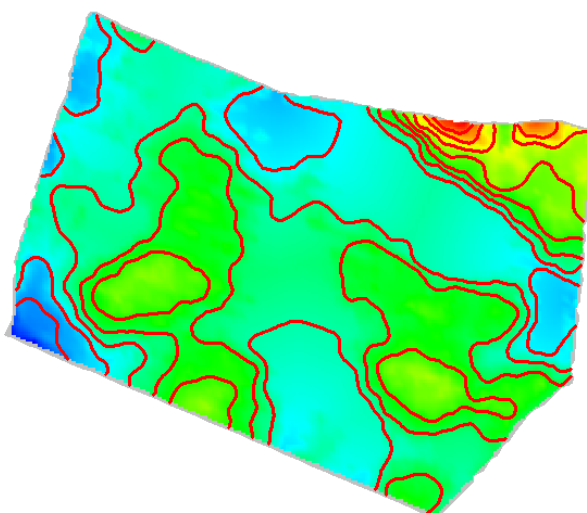


Figura 3 - Modelo digital de elevação da área experimental 1, A e B original e após sistematização pelo modelo com declividade variada (declividade mínima de 0.05%) com suas respectivas curvas de níveis com 5 cm de desnível entre si e C e D com suas respectivas taipas com 5 cm de desnível entre si.

Comparando as Figuras 3A e 3B observa-se que as curvas de nível nas depressões (zonas claras) desapareceram, ou seja, o efeito da sistematização no modelo DVD garantiu a não acumulação de água superficial nestas áreas, não havendo mais curvas de nível fechadas nas zonas de depressão (zona clara).

Observa-se ainda que, as poucas zonas de depressão (zona clara) que ainda são observadas após a sistematização por meio do modelo DVD encontram-se nas extremidades da área sistematizada, ou seja, não formam

armazenamento de água, porém, exigem à necessidade de um dreno coletor externo, comumente utilizado nestas situações.

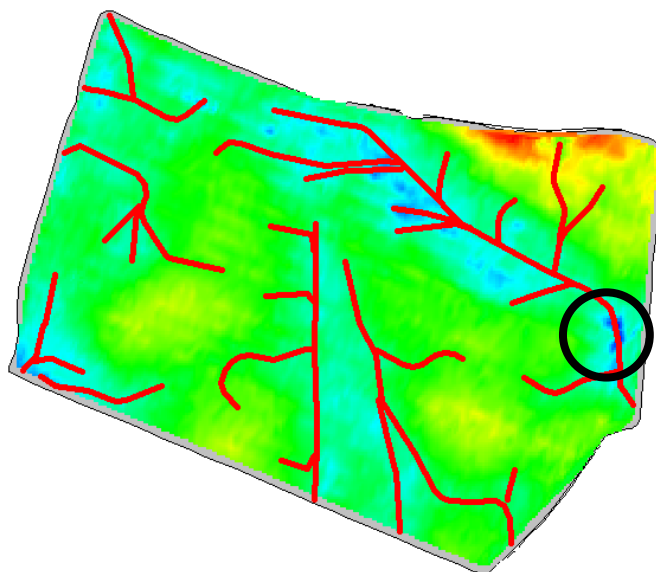
Em condições práticas, em alguns casos, há um canal de irrigação (com cota maior) margeando a área a ser drenada, nestes casos é necessário realizar uma eliminação localizada dessa depressão.

Embora o modelo de sistematização DVD tenha tido como objetivo a eliminação das depressões, observou-se ainda a influência no comportamento de taipas, ou seja, comparando as Figuras 3C e 3D observou-se um menor número de taipas para o modelo de sistematização DVD (Figura 3D). Sendo assim, é possível inferir que o modelo de sistematização DVD, além de eliminar as depressões da área, reduz o número total de taipas necessárias para a irrigação da cultura do arroz, e, conseqüentemente, o custo de implementação da lavoura arrozeira.

Considerando ainda a sistematização pelo modelo DVD, nas Figura 4A (área original) e 4B (área sistematizada pelo modelo DVD) pode-se observar o comportamento dos drenos superficiais (linhas de fluxo da água) projetados levando em consideração o raio de giro de 7 m do conjunto trator-valetadeira.

O comportamento dos drenos superficiais (Figura 4A e 4B), indicam que a sistematização da área não apresentou mudanças consideráveis. Entretanto, o fato mais relevante pode ser observado na comparação entre o perfil do fundo do dreno (Figura 4C e 4D) nos pontos indicados na Figura 4A e 4B (círculos pretos), o qual não apresentou, para a sistematização do modelo DVD, declividade negativa (Figura 4D), o que, conseqüentemente, torna o fluxo de água no dreno mais eficiente, minimizando o armazenamento de água.

A.



B.

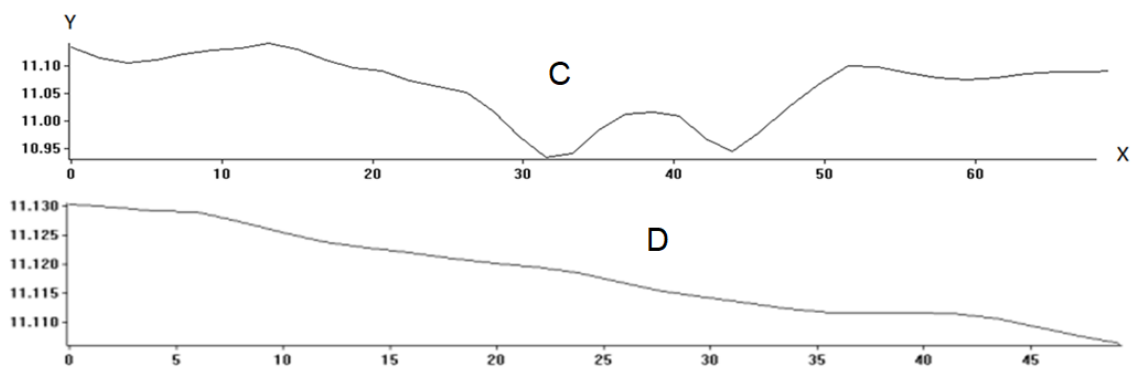
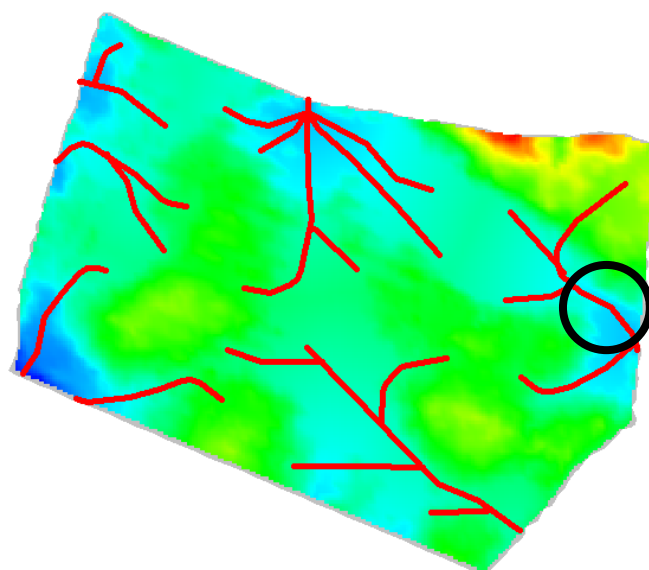


Figura 1 - Modelo digital de elevação e rede de drenagem da área experimental 1: A (área original), B (área sistematizada pelo modelo DVD); e perfil do fundo do dreno no ponto indicado: C (área original) e D (área sistematizada pelo modelo DVD) para declividade mínima de 0,05%.

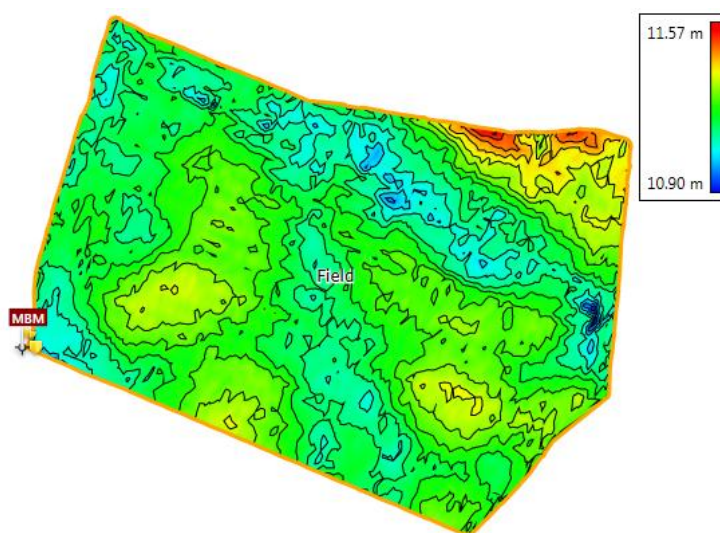
Na Figura 5 pode ser observado: o MDE da área experimental 1 original (Figura 5A), o MDE após a aplicação do modelo de declividade variada visando irrigação (DVI) com curvas de nível com 5 cm de desnível entre si (Figura 5B), as taipas sobre a superfície original com 5 cm de desnível entre si (Figura 5C) e as taipas sobre a superfície DVI com 5 cm de desnível entre si (Figura 5D).

Pode-se observar uma suavização entre as superfícies das Figuras 5A e 5B. A análise permite verificar que o relevo da área experimental 1, após a aplicação do modelo DVI (Figura 5B), assume um comportamento intermediário entre os modelos de sistematização DU e DVD, Figuras 2B e 3B, respectivamente.

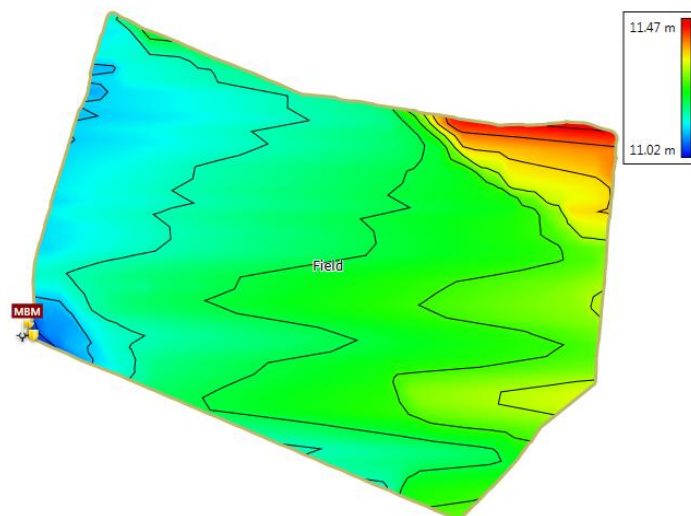
O modelo de sistematização DVI, por definição, apresentou declividade no sentido do *Best Fit* do modelo de sistematização DU, indicado na Figura 2B, para a área experimental 1, com azimute de $271,22^\circ$ (Tabela 5).

Como é possível de se verificar na Figura 5 o número de taipas (NT) da área foi reduzido, não havendo também áreas com armazenamento superficial de água (depressões).

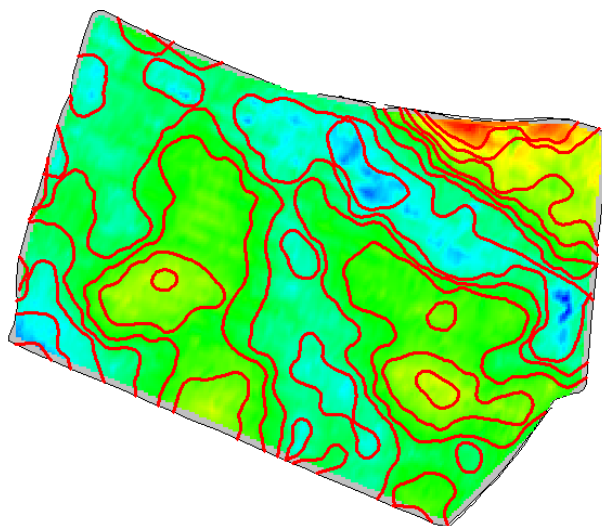
A.



B.



C.



D.

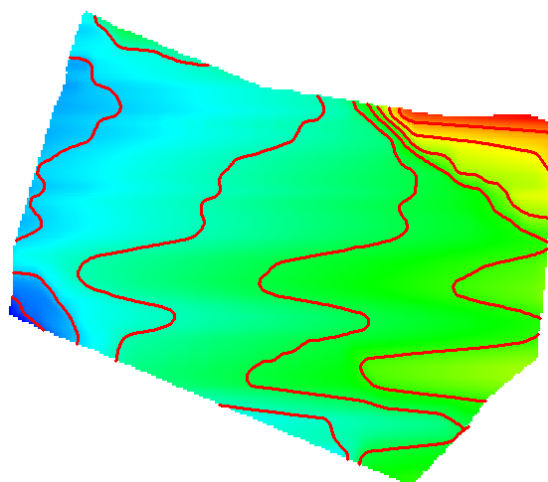


Figura 2 - Modelo digital de elevação da área experimental 1: A (área original), B (área sistematizada pelo modelo DVI); e curvas de nível com 5 cm de desníveis entre si para declividade mínima de 0,025%; e taipas com 5 cm de desníveis entre si para declividade mínima de 0,025%; C (área original) e D (área sistematizada pelo modelo DVI)

4.4. Aplicação dos modelos de sistematização

4.4.1. Modelo de sistematização com declividade uniforme (DU)

Na Tabela 5 são apresentados os dados referentes ao modelo de sistematização com declividade uniforme (DU). O movimento de solo (MS) médio foi de $334 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e o corte máximo (CM) médio, em 99% da área, foi de 18,7 cm. Assim, pode-se afirmar que tanto o movimento de solo como o corte são considerados excessivos para o tipo de solo da região (Pinto et al., 2004; Parfitt et al. 2014).

O movimento de solo (MS) máximo foi observado para a área experimental 7 ($623 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) e o mínimo foi observado na área experimental 2 ($207 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). O corte máximo (CM) foi obtido na área experimental 7 (28 cm de corte) e o mínimo na área experimental 2 (13 cm).

Tabela 5 - Sistematização com declividade uniforme (DU) nas sete áreas experimentais.

Área	Orientação	MS	CM	CT	NT
1	271,22	341,21	21	0,29	1
2	281,62	207,80	13	2,26	4
3	271,03	214,08	14	4,85	19
4	187,27	416,79	27	3,20	17
5	182,87	241,06	13	2,80	15
6	278,72	295,15	15	7,41	31
7	122,10	623,39	28	5,62	29
Média	-----	334	18,7	3,8	16,6

Orientação = azimute da declividade resultante (graus); MS = movimento de solo (m^3/s); CM (99%) = corte máximo (cm) em 99% da área; CT= comprimento de taipas (km); NT= número de taipas.

Com relação ao comprimento de taipas (CT) observa-se que o comprimento médio das taipas nas áreas originais, ou seja, antes da sistematização foi de 9,5 km (Tabela 5) e após foi de 3,8 km (Tabela 6) e o número de taipas (NT) diminuiu de 38 (Tabela 5) para 16,6 (Tabela 6). No modelo de sistematização DU, além de apresentarem como características taipas retas, também demonstraram uma diminuição no comprimento e número de taipas. Entretanto, cabe ressaltar que, de acordo com Bueno et al. (2018), a execução de taipas em curva, a partir da utilização do sistema GNSS-RTK,

com a orientação guiada por piloto automático, não apresentam grandes dificuldades de execução.

4.4.2. Modelo de sistematização com declividade variada visando drenagem (DVD)

Na Tabela 6 são apresentados os resultados referentes a sistematização com declividade variada visando a drenagem (DVD) avaliado nas áreas experimentais, sendo eles: i) declividade mínima (DM), variando de 0%, 0,025%, 0,05% e 0,1%, ii) movimento de solo (MS) (m^3ha^{-1}), iii) corte máximo (CM) (cm) em 99% da área, iv) comprimento de taipas (CT) (km) e v) número de taipas (NT). É apresentada também a média para as quatro declividades avaliadas (0%, 0,025%, 0,05% e 0,1%).

Tabela 6 - Resultados obtidos pela sistematização com declividade variada visando drenagem (DVD) nas áreas experimentais para as quatro declividades mínimas.

Área	DM	MS	CM	CT	NT
1	0	54,6	2,0	5,9	25
	0,025	71	2,0	5,6	23
	0,05	104	3,0	5,3	21
	0,1	180,0	4,0	4,9	20
2	0	67,9	3,0	7,3	32
	0,025	91,7	3,0	6,8	28
	0,05	144,1	5,0	6,1	22
	0,1	284,0	6,0	5,8	19
3	0	44,4	2,0	10,1	31
	0,025	50,3	2,0	9,7	29
	0,05	65,4	3,0	9,0	26
	0,1	152,0	4,0	8,7	21
4	0	50,7	2,0	6,0	32
	0,025	56,5	2,0	5,9	32
	0,05	67	3,0	5,6	31
	0,1	100	4,0	5,3	30
5	0	43,3	2,0	4,5	21
	0,025	45,3	2,0	4,4	21
	0,05	51,8	5,0	4,2	20
	0,1	72,7	6,0	3,9	19
6	0	22,5	2,0	13,5	34
	0,025	24,5	2,0	13,4	34
	0,05	30,5	2,0	13,3	33
	0,1	63,4	3,0	13,2	32
7	0	34,5	2,0	7,3	38
	0,025	58,1	2,0	7,2	38
	0,05	104,3	3,0	7,1	37
	0,1	212,9	4,0	6,9	36
Média	0	45,4	2,0	7,8	30,4
	0,025	56,8	2,0	7,6	29,3
	0,05	81,0	3,4	7,3	27,1
	0,1	152,2	4,4	7,2	25,2

DM = declividade mínima (%); MS = movimento de solo (m^3ha^{-1}); CM(99%) = corte máximo (em cm) em 99% da área; CT= comprimento total de taipas e NT= número de taipas

Conforme se pode verificar na Tabela 6, os valores de declividade mínima (DM) exercem uma influência significativa na movimentação de solo, a qual teve seus valores médios variando entre 45,4 a 152,2 (m^3ha^{-1}). Observa-se também que a movimentação de solo é diretamente proporcional a

declividade mínima (DM) estabelecida, ou seja, ao aumentar a DM o MS também aumenta e ao diminuir a DM o MS também diminui. Sendo assim os valores de MS para a DM de 0% variou de 22,5 a 67,3 m³ há⁻¹, e para a DM de 0,1% variou de 72,7 e 284 m³ha⁻¹.

Segundo Liu e Singh. (2004) as depressões em solos agrícolas promovem o aumento do acúmulo superficial de água. Portanto, é importante ressaltar que o critério de declividade mínima (DM) é de grande importância prática, pois elimina todas as depressões da área e o que era uma área de armazenamento superficial de água, passa a ter a declividade sempre positiva em apenas um sentido. Conforme Pinto et al. (2004), estas depressões no ambiente de terras baixas são fruto do processo de formação do solo e um dos principais problemas de drenagem nas terras baixas do Rio Grande do Sul.

Nesse sentido Winkler et al. (2018) verificaram que a declividade da sistematização a partir de 0,1% passa a ter maior influência na drenagem superficial em área de terras baixas. Essas informações foram medidas na área total da lavoura sistematizada, no caso deste estudo seria relativa somente a área com depressão o qual poderia se tolerar uma declividade menor, entretanto declividade zero não seria indicada.

Embora a declividade mínima apresente forte impacto no movimento do solo (custo) e no corte máximo (degradação do solo) (MS e CM na Tabela 6), contudo cada projeto de sistematização no modelo DVD deve ser examinado cuidadosamente, pois como observado na Tabela 6 os valores são muito variáveis e ocorrem casos que mesmo com declividade mínima de 0,1% o movimento de solo e corte máximo são pequenos como se pode verificar na área 6 (Tabela 6).

Em relação ao corte máximo (CM) médio os valores variaram entre 2 a 4,4 cm (Tabela 6) para as quatro declividades mínimas (DM) avaliadas (0%, 0,025%, 0,05% e 0,1%). Como é possível de verificar na Tabela 6, o menor valor de CM foi de 2 cm, ocorrendo na DM de 0%, e o maior valor de CM ocorreu na DM de 0,1%. Esses valores de CM são considerados baixos, pois conforme Silva e Parfitt (2004), tendo em vista a pouca profundidade efetiva do solo agrícola de terras baixas, não são recomendadas profundidades de cortes superiores a 10 cm.

Quanto ao desempenho do modelo declividade variada drenagem (DVD) sobre o comprimento de taipas (CT) pode-se verificar na Tabela 6 que a diferença entre a DM de 0% e a DM de 0,1% foi em média de 0,88 km, não havendo grande influência da declividade mínima neste atributo.

É importante destacar também que o número de taipas (NT) médio obtido na área original, cujo o valor foi de 38 (Tabela 4), diminuiu para 30,4 e 25,2 para as declividades médias (DM) de 0 e 0,1% respectivamente (Tabela 6).

4.4.3. Modelo de sistematização com declividade variada visando irrigação (DVI)

Na Tabela 7 constam os resultados referentes à sistematização com declividade variada visando a irrigação (DVI) avaliado nas sete áreas experimentais, sendo eles: i) declividade mínima (DM), variando de 0,025%, 0,05% e 0,1%, ii) movimento de solo (MS em m^3ha^{-1}), iii) corte máximo (CM em cm) em 99% da área, iv) comprimento de taipas (CT em km) e v) número de taipas (NT).

Cabe ressaltar que a declividade mínima (DM) neste caso apresenta importância em termos de drenagem, como mencionado no modelo de sistematização visando a drenagem (DVD). Porém, a DM também exerce um papel fundamental em termos de irrigação, pois, conforme Castro (1997), uma declividade nula não seria adequada para irrigação por sulcos, no entanto, e tal declividade não deve proporcionar uma velocidade excessiva da água de irrigação, para não causar erosão.

Como pode-se observar na Tabela 7, a declividade mínima (DM) apresentou uma influência bastante significativa no movimento de solo (MS) o qual teve valor médio entre 95 a 261 m^3 ha com valores mínimos para 0,025% e 0,1% de declividade mínima de 69 e 126 m^3 ha e de valores máximos de 292 e 610 m^3 há, respectivamente. Em relação ao corte máximo médio os valores variaram de 8,1 a 9,34 cm. Os valores para as declividades mínimas de 0,025% e 0,1% foi de 5 e 15 cm e máximos de 6 e 17 cm, respectivamente.

É importante ressaltar que, para o modelo de sistematização DVI, em relação ao comprimento de taipas (CT), o efeito médio foi maior que 3 km, considerando-se uma área média de 17 há, esse valor significa uma redução

de comprimento significativo. A declividade mínima aplicada no modelo não representa grandes ganhos em termo de comprimento das taipas já que a diferença entre o maior valor e o menor houve diminuição de apenas trezentos metros.

Tabela 7 - Resultados obtidos pela sistematização com declividade variada visando a irrigação (DVI) nas áreas experimentais.

Área	DM	MS	CM	CT	NT
1	0,025	292,54	15	3,07	13
	0,05	373,91	15	2,91	13
	0,1	610,44	17	2,76	12
2	0,025	141,79	7	5,72	15
	0,05	189,54	7	5,63	15
	0,1	387,06	8	5,48	15
3	0,025	94,87	6	8,26	21
	0,05	108,27	6	8,16	21
	0,1	202,21	7	8,02	20
4	0,025	145,02	10	4,55	26
	0,05	157,43	10	4,49	26
	0,1	185,52	11	4,41	25
5	0,025	102,03	5	3,77	19
	0,05	108,33	5	3,72	19
	0,1	126,79	6	3,65	19
6	0,025	86,8	7	11,18	37
	0,05	96,83	7	11,1	37
	0,1	132,64	8	10,9	36
7	0,025	69,58	7	6,98	30
	0,05	92,63	7	6,87	30
	0,1	187,65	8	6,68	29
Média	0,025	95	8,1	6,2	21,7
	0,05	160	8,1	6,1	21,7
	0,1	261	9,3	5,9	22,3

DM = declividade mínima (%); MS = movimento de solo (m^3ha^{-1}); CM(99%)= corte máximo(em cm) em 99% da área; CT= comprimento total de taipas e NT= número de taipa

4.5. Comparação entre modelos de sistematização

4.5.1. Em relação ao movimento de solo e corte máximo

O comportamento em relação ao movimento de solo (MS) e corte máximo do modelo de sistematização com declividade uniforme (DU), Tabela 5, o qual, até surgir o sistema GNSS-RTK, era considerado o melhor modelo de sistematização, apresenta movimento médio de $334 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e corte sempre superior a 15 cm. Estes valores elevam o custo da sistematização, entretanto, cortes superiores a 15 cm provocam regiões com problemas de produtividade na área sistematizada (AQUINO et al., 2015; CAZANESCU et al., 2010).

Em geral o modelo DVD apresentou menor movimento de solo que o modelo DVI. Os valores de MS do modelo DVD, para as declividades mínimas de 0%, 0,025%, 0,05% e 0,1%, foram 45, 56, 87 e $152 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente. Para o modelo DVI, considerando as declividades mínimas de 0,025%, 0,05% e 0,1%, os valores de MS foram, respectivamente, 95, 160 e $261 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Em relação ao corte máximo (CM), o modelo de sistematização DVD apresentou menores valores que o modelo DVI (Tabela 6), porém, estes valores dependem muito da conformação da superfície do solo de cada área experimental. Assim, tomando como exemplo as áreas experimentais 5 e 6, as quais apresentam valores de movimento de solo (MS) e corte máximo (CM) para o modelo DVI com baixo custo e pouca agressão ao solo, podendo ser aplicado em termos práticos o modelo de sistematização DVI para essas áreas.

4.5.2. Em relação ao comprimento e número de taipas

O desempenho do modelo DU (Tabela 5) em relação ao comprimento de taipas (CT) e ao número de taipas (NT) apresentou resultado considerado satisfatório, visto que os valores médios de CT caíram de 9,5 para 3,8 km e o NT de 38 para 16 taipas. Sendo assim, pode-se inferir que o modelo de sistematização DU, em relação a superfície da área, é o que melhor se enquadrou. Contudo, não é esta a característica pelo qual esse modelo apresenta problema e sim pelo movimento e corte máximo do solo como anteriormente mencionado.

Com relação ao comprimento de taipas (CT) e número de taipas (NT) o modelo de sistematização DVI apresentou melhor desempenho, já que é o modelo onde foi observado o menor CT, em comparação com o modelo de

sistematização DVD, sendo este valor próximo de 6,0 km (DVI) e, aproximadamente, 7,5 (DVD), Tabelas 6 e 7. Obviamente, o mesmo comportamento aconteceu em relação ao NT, obtendo-se 22 taipas para o modelo DVI e 28 taipas para o modelo DVD. Da mesma forma, como ocorreu com o MS e CM, cada área experimental se constitui em um caso independente, sendo necessário que quando se realizar um projeto de sistematização deve-se examinar todas as alternativas possíveis.

4.6. Conclusões

1. Os modelos de sistematização com declividade variada (DVD e DVI) representam um avanço tecnológico em relação ao modelo de sistematização com declividade uniforme (DU), pois, diminuem o custo e agredem menos o solo.
2. O modelo de sistematização com declividade variada visando à drenagem (DVD) apresenta, em geral, menor movimento de solo (MS) e corte máximo (CM) que o modelo com declividade variada visando à irrigação (DVI).
3. O modelo de sistematização com declividade variada visando à irrigação (DVI) apresenta melhor desempenho quando comparado com o modelo de declividade variada visando à drenagem (DVD), em relação ao comprimento de taipas (CT) e ao número de taipas (NT).

Bibliografia

Aquino, G.A.; Medina, C.C.; Porteira Jr., A.L.; Santos, L.O.; Cunha, A.C.B.; Kussaba, D.A.O.; Santos Jr., J.H.; Almeida, L.F.; Santiago, A.D. 2015. **Root system and productivity of sugarcane ratoon associated to different quantities of straw**. Pesquisa Agropecuária Brasileira 50: 1150-1159 (in Portuguese, with abstract in English).

AZAMBUJA, I. H; VERNETI JUNIOR, F; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. De. **Aspectos Socioeconômicos Da Produção Do Arroz**. In: GOMES, A. da S; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de. Arroz Irrigado No Sul Do Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. cap.1. p. 23-44.

AZIZ, S. ABD; STEWARD, B. L; TANG, L; KARKEE, M. **Utilizing Repeated Gps Surveys From Field Operations for Development of Agricultural Field Dems**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, vol. 52, no. 4, 2009, pp. 1057–67.

BANSAL, C., G. SINGH, D.K. Jain, and M. Kaur, 2014. **Laser Land Leveling Prototype Development**. International Journal of Latest Research in Science and Technology, 3, (6) pp. 130-134.

BAIO, F. R. R.; MORATELLI R. F. **Avaliação da acurácia no direcionamento com piloto automático e contraste da capacidade de campo operacional no plantio mecanizado da cana-de-açúcar**. Engenharia Agrícola, v.31, n.2, p.367-375, 2011.

BERNARDO, Salassier; SOARES, Antônio Alves; MANTOVANI, Everardo Chartuni. **Manual de irrigação**. Visçosa: Ed. UFV, 2006. 625 p.

BISOGNIN, B. P.; BATISTELLA, B. F.; LOPES, T. G.; AURELIO, M. A.; DIAS, V. O. **No nível**, Revista Cultivar Maquinas. n. 134 Outubro de 2013, p. 06-08, 2013.

BRYE, K.R.; SLATON, N.A.; SAVIN, M.C.; NORMAN, R.J.; MILLER, D.M. **Short-term effects of land leveling on soil physical properties and microbial biomass**. Soil Sci. Soc. Am. J., v.67, p.1405-1417, 2003.

BRYE K, R.; SLATON N, A.; and NORMAN R, J. **Soil Physical and Biological Properties as Affected by Land Leveling in a Clayey Aquert**. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 70, no. 2, 2006, pp. 631–42, doi:10.2136/sssaj2005.0185.

BRUTTI, M. A.. **Utilização do sistema John Deere – Surface Water Pro e CR – Campeiro 7 para obtenção de dados altimétricos para o manejo do arroz irrigado (oryza sativa)**. 2014. 62 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) – Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Área de Concentração em Tecnologias em Agricultura de Precisão, do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2014.

Bueno, M V.; Campos, A, D, S de; Timm, P, A; Silva da, J, T.; Faria, L, C.; Parfitt, J, M, B.(2017), **Sistematização localizada: primeira versão**. Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 10. Gramado, SOSBAI.

CASTRO, L. C. A. **Análise da irrigação por sulcos utilizando a metodologia do balanço de volume**. 1997, 91p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração em Irrigação e Drenagem) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza

CAZANESCU, S.; MIHAI, D.; MUDURA, R.; 2010. **Modern technology for land levelling based on a 3D scanner**. Research Journal of Agricultural Science, 42 (3), pp. 471- 478.

CONAB: Companhia nacional de abastecimento. **Acompanhamento da safra Brasileira** v.2, n. 9. Junho/2015 Disponível em<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_06_11_09_00_38_boletim_graos_junho_2015.pdf> Acesso em jan. 2018.

Dalmolin, A C.; Bueno, M V.; Campos, A, D, S de; Silva da, J, T.; Timm, P, A.; Corvello, I, S, C.; Faria, L, C.; Parfitt, J, M, B. (2017) **Comparação entre os sistemas laser e gnss-rtk na demarcação de taipas no arroz irrigado**. Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 10. Gramado, SOSBAI.

EMYGDIO, B M; ROSA, A. P. S. A. da; OLIVEIRA, A. C. B. de. **Cultivo de soja e milho em terras baixas do Rio Grande do Sul**. In: Parfitt, J. M. B; Winkler, A. S; Pinto, M. A. B; Silva, J. T. da. Irrigação e drenagem para cultivo de soja e milho. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017. Cap.3,p45-78.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Faostat.2013. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/O/OA/S>. Acesso em: Jan. 2018.

FARM WORKS, versão 2016.02.00.57, **Information Management Solutions**. TRIMBLE, 2016.

FAROOQ, M.; SIDDIQUE, K. H. M.; REHMAN, H.; AZIZ, T.; LEE, D. J.; WAHID, A.; **Rice direct seeding: Experiences, challenges and opportunities.** Soil & Tillage Research.v.111, n. 1, p. 87-98, 2011.

FRANTZ, U. G; SCHLOSSER, J. F, RODRIGUES, F. A; FARIAS, M. S. de; BARBIERI, J. P. **Desempenho de Equipamentos Utilizados Para O Fechamento de Taipas Abertas Para Drenagem No Arroz Irrigado.** Engenharia Agrícola, no. October 2015, 2015, pp. 875–85, doi:10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n5p875-885/2015.

FURLANI, E. J.; MACHADO, J. R.; VELINI, E. D. **Épocas de início da inundação do solo e altura da lâmina de água em arroz irrigado.** Bragantia, Campinas, 54(2):413-418. 1995

GAMERO, C. A.; BENEZ, S. H. Avaliação da condição do solo após a operação de preparo. In: CICLO DE ESTUDOS SOBRE MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA, 4, 1989, Jundiaí. Anais... Campinas: Fundação Cargill, 1990. p. 12-21.

IRRI (2013). **Rice And Food Security.** International Rice Research Institute Disponível em:<http://Irri.Org/Index.Php?Option=ComK2&View=Item&Layout=Item&Id=9081&Lang=En>. Acesso em: janeiro de 2018.

JAT, M.L.; GATHALA M.K.; LADHA J.K.; SAHARAWAT, Y.S., JAT, A.S.; SHARMA, S.K; KUMAR, V.; GUPTA, R. **Evaluation of precision land leveling and double zero-till systems in the rice–wheat rotation: Water use, productivity, profitability and soil physical properties.** Soil and Tillage Research, v. 105, p. 112121, 2009.

JAT, M.L., P; CHANDNA, R.; GUPTA, S.K.; SHARMA, and Gill M.A. **Laser Land Leveling: A Precursor Technology for Resource Conservation.** Rice-Wheat Consortium for the Indo-Gangetic Plains CG Block, National Agriculture Science Centre (NASC) Complex, DPS Marg, Pusa Campus, New Delhi 2006, India

KRAEMER, A.; MOULIN, J. F.; MARÍN, A. R.; KRUGER, D. y HERBER, L. 2005. **Manual del aguador Arrocerero: Principios básicos para el Manejo del Riego en el cultivo de Arroz.** Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 24p.

LIU, Q. Q., and Singh, V. P. **Vegetative Cover on Overland Flow through Simulation.** *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 9, no. 5, 2004, pp. 375–82, doi:10.1061/(ASCE)1084-0699(2004)9.

LOIOLA, M. L.; SOUZA, F. **Estatísticas sobre irrigação no Brasil segundo o Censo Agropecuário 1995-1996**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 171-180, 2001.

MAHAJAN, G. et al. **Yield and water productivity of rice as affected by time of transplanting in Punjab, India**. Agricultural Water Management, v.26, p.525-532, 2009. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377408002369>>. Acesso em: janeiro, 2018. doi: 10.1016/j.agwat.2008.09.027

Mandal, S. Kr; Maity, A.. **Applications of Laser in Agriculture – A Critical Review**. Mechanical Engineering. Vol. 63, 2013, pp. 18740–45.

MANTOVANI, C. E; BERNARDO, S; PALARETTI, L. F. **IRRIGAÇÃO: princípios e métodos**. 3. Ed. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. 2009. 355 p.

MOLINA, J.; SIKORA, M.; GARUD, N.; FLOWERS, J. M.; RUBINSTEIN, S.; REYNOLDS, A.; HUANG, P.; JACKSON, S.; SCHAAL, B. A.; BUSTAMANTE, C. D.; BOYKO, A. R.; PURUGGANAN, M. D. **Molecular evidence for a single evolutionary origin of domesticated rice**. Proceedings of the National Academy of Sciences. n. 20,v. 108,p. 8351-8356, 2011.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

MUTHAYYA, S; SUGIMOTO, J. D; MONTIGOMERY, S; MABERLY G. F.. **An Overview of Global Rice Production, Supply, Trade, and Consumption**. Annals of the New York Academy of Sciences, vol. 1324, no. 1, 2014, pp. 7–14, doi:10.1111/nyas.12540.

NORONHA, L. C. **Com boa gestão, não faltará água**. In: BARROS FILHO, O. L.; BOJUNGA, S. (Orgs.), Tempo das águas. Porto Alegre: Laser Press Comunicação, 2006. p. 15-39

PARFITT, J.M.B.; SILVA, C.A.S.; PETRINI, J.A. **Estruturação e sistematização da lavoura de arroz irrigado**. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JUNIOR, A.M. (Eds.). Arroz irrigado no Sul do Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004a. cap.8, p.237-257.

PARFITT, J.M.B.; SILVA, C.A.S.; SCIVITTARO, W.B.; BRANÇÃO, N. **Influência de cortes e aterros no desempenho da soja em várzea sistematizada.** In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 30, 2004, Passo Fundo. Anais. Embrapa Trigo, 2004b.

PARFITT, J. M. B., CONCENÇO, G., SCIVITTARO, W. B., ANDRES, A., SILVA, J. T. DA, & PINTO, M. A. B. (2017). **Soil and Water Management for Sprinkler Irrigated Rice in Southern Brazil.** In J. Li (Ed.), *Advances in International Rice Research* (pp. 3-18). InTech, Croatia. <https://doi.org/10.5772/66024>

PINCIROLI, María; PONZIO, Nora Raquel; SALSAMENDI, Maité. **El arroz: alimento de millones.** Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2015. Cap. 2, p. 28.

PINTO, L.F.S. et al. **Caracterização de solos de várzea.** IN: GOMES, A.S., PAULETO, E.A. (Ed.). *Manejo de solo e água em áreas de várzea.* Pelotas: Embrapa-CPACT, 2004. p. 11-36.

RABELO, Max Well Oliveira. **Levantamento altimétrico com tratores agrícolas e dimensionamento e implantação automatizada de práticas mecânicas de conservação do solo.** Dissertação de mestrado . 2011, p. 87.

REICHERT, J. M.; DARIVA, T. A.; REINERT, D. J.; DA SILVA, V. R. **Variabilidade espacial de Planossolo e produtividade de soja em várzea sistematizada: análise geostatística e análise de regressão.** *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 981-988, 2008.

RICKMAN, J.F., 2002. **Manual for Laser Land Leveling.** Rice–Wheat Consortium Technical Bulletin Series 5. Rice–Wheat Consortium for the Indo-Gangetic Plains, New Delhi, India, pp. 24.

ROCCO, G. C., **Benefícios obtidos pelo uso da Agricultura de Precisão.** Relatório Final de Estágio, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009. Disponível em: <http://www.ler.esalq.usp.br/download/gmap/estagio/Rocco.pdf>. Acessado em: janeiro de 2018.

ROSSO, B., PEITER, M. X., ROBAINA, A. D., RICALDE, R., BUSKE, T. C., PEREIRA, S. 2016. **Influência do manejo da altura de lâmina de água e densidade de semeadura nos componentes de produção do arroz no sistema de cultivo pré-germinado,** 115, 19–28.

SANTOS, A. F. dos; SILVA, R. P. da; TAVARES, T. O.; ORMOND A. T. S.; ROSALEN, D. L.; ASSIS, L. C. de. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental*. **Parallelism Error in Peanut Sowing Operation with Auto-Steer Guidance**. 2017, pp. 731–36.

SCIVITTARO, W. B.; GONÇALVES, D. R. N.; VALE, M. L. C.; RICORDI, V. G. **Nitrogen losses by ammonia volatilization and lowland rice response to NBPT urease inhibitor-treated urea**. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1283-1289, 2010

SEEBER, G. *Satellite Geodesy*. 2nd. ed. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003.

SILVA, C.A.S.; PARFITT, J.M.B. **Drenagem superficial para diversificação do uso de várzea do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 10p. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 40).

SOSBAI - Sociedade sul-brasileira de arroz irrigado. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Itajaí, SC: SOSBAI, 2012.179p.

SOSBAI - Sociedade sul-brasileira de arroz irrigado. **Arroz irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. XXX Reunião técnica da cultura do arroz irrigado, 06 a 08 de agosto de 2014, Bento Gonçalves, RS, Brasil. 192 p. Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Santa Maria, 2014. Disponível em: <http://www.sosbai.com.br/docs/Boletim_RT_2014.pdf>.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da; MOREIRA, J. A. Irrigação. In: SANTOS, A. dos; STONE, L.; VIEIRA, N. de (Ed.). **A Cultura do Arroz no Brasil**. 2. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz E Feijão, 2006. cap. 17. p. 683-730.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ed. Porto Alegre: EMATER/UFRGS, 2008. 222p.

TERRES, A.L.; GALLI, J.; FAGUNDES, P.R.R.; MACHADO, M.O.; MAGALHAES JUNIOR, A.M. de; MARTINS, J.F.; NUNES, C.D.M.; FRANCO, D.F.; AZAMBUJA, I.H.V. **Arroz irrigado no Rio Grande do Sul: generalidades e cultivares**. Pelotas : Embrapa Clima Temperado, 1999. 58p (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 14)

VEDELAGO, A. et al. **Fertilidade e aptidão de uso dos solos para o cultivo da soja nas regiões arroyeiras do Rio Grande do Sul**. Cachoeirinha: IRGA, 2012. 48 p. (Boletim Técnico, 12)

WALKER, T.W.; KINGERY, W.L.; STREET, J.E.; LOX M.S.; OLDHAM, J.L.; GERARD, P.D.; HAN, F.X. **Rice yield and soil chemical properties as affected by precision landleveling in alluvial soils**. Agron. J. 95: 1483-1488. 2003.

WINKLER, Antoniony Severo. **Efeito da declividade do terreno sobre o armazenamento superficial de água em áreas sistematizadas**. 2013. 69f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

WINKLER, A. S.; PARFITT, J. M. B.; TIMM, L. C. **Locação de drenos através da análise de modelo digital de elevação em área de várzea**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 8., 2013, Santa Maria, RS. Anais... Santa Maria: SOSBAI, 2013. v. 1. p. 1136- 1139.

Winkler, A S. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental. **Surface Drainage in Leveled Land : Implication of sope**. 2018, pp. 77–82.

WMform®, versão 2016.02.00.57, **Information Management Solutions**. TRIMBLE, 2016.