

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Programa de Pós-Graduação em Manejo e
Conservação do Solo e da Água



Dissertação

**EFEITO DA DECLIVIDADE DO TERRENO EM RELAÇÃO AO
ARMAZENAMENTO SUPERFICIAL DA ÁGUA EM ÁREAS
SISTEMATIZADAS**

Antioniy Severo Winkler

Pelotas, 2013

ANTONIONY SEVERO WINKLER

**EFEITO DA DECLIVIDADE DO TERRENO EM RELAÇÃO AO ARMAZENAMENTO
SUPERFICIAL DA ÁGUA EM ÁREAS SISTEMATIZADAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Manejo e Conservação do Solo e da Água.

Orientadora: Prof^a. Dra. Claudia Fernanda Almeida Teixeira

Co-Orientador: Pesquisador Dr. José Maria Barbat Parfitt

Co-Orientador: Professor Dr. Fioravante Jaekel dos Santos

Pelotas, 2013

Dados de catalogação na fonte:
(MarleneCravo Castillo – CRB-10/744)

W775eWinkler, Antony Severo

Efeito da declividade do terreno em relação ao armazenamento superficial da água em áreas sistematizadas /Antony Severo Winkler ; orientador Claudia Fernanda Almeida Teixeira; co-orientadores José Maria Barbat Parfitt e Fioravante Jaekel dos Santos. - Pelotas, 2013.-69f. ; il..- Dissertação (Mestrado) –Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel . Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2013.

1.Solos de várzea 2.Arroz irrigado 3.Drenagem superficial I Teixeira, Claudia Fernanda Almeida(orientador)
II .Título.

CDD 631.7

ANTONIONY SEVERO WINKLER

**EFEITO DA DECLIVIDADE DO TERRENO EM RELAÇÃO AO ARMAZENAMENTO
SUPERFICIAL DA ÁGUA EM ÁREAS SISTEMATIZADAS**

Aprovada em: 08/03/2013.

Banca examinadora:

Prof.^a Dra. Claudia Fernanda Almeida Teixeira
Centro de Engenharias — UFPEL

Prof. Dr. Marcelo Peske Hartwig
IFSul - Instituto Federal Sul - Rio - grandense

Prof. Dra. Rita de Cássia Fraga Damé
Centro de Engenharias – UFPEL

Aos meus filhos Antonio (*in memorian*) e Francisco (*in memorian*);
À minha esposa Luana.

Dedico

“Só mesmo o tempo que apaga sonhos

E mostra à vida suas razões

Traz sem a pressa sem que se peça

Um sonho novo aos corações”

Estes campeiros de todo dia – Cristiano Quevedo

Agradecimentos

À Prof^a Dr^a. Claudia Fernanda Almeida Teixeira, pela orientação, amizade, motivação, pelos tantos momentos bons de convívio e principalmente pela paciência.

Ao pesquisador da Embrapa Clima Temperado Dr. José Maria Barbat Parfitt, pela co-orientação e viabilização da execução deste trabalho, pela amizade e disposição para transmitir o seu conhecimento.

Ao Prof. Dr. Fioravante Jaekel dos Santos pela sua dedicação e grande colaboração na geração dos resultados deste trabalho e principalmente pela sua amizade.

Aos colegas de curso, Renata Alves, Aline Hernandez, Jacira Porto, Leandro Aquino, Marcos do Vale, Marília Alves pela amizade, carinho e pelos momentos de felicidade que me proporcionaram e pelo apoio no momento mais doloroso da minha vida.

Ao meu grande amigo Leonardo Oliveira dos Santos, que é uma pessoa muito importante para mim, e que de uma forma ou de outra sempre me incentivou a não desistir de seguir adiante.

À minha irmã Dailise Severo Winkler, que para mim é exemplo de força de vontade e dedicação.

Aos meus queridos avós Antonio e Ilizia, que são pessoas que dedicam muito das suas vidas à felicidade dos netos, e sempre estiveram do meu lado com seu total apoio.

Aos meus pais, Cleo e Rosane, pelo amor, compreensão e paciência que sempre tiveram comigo, sempre confiando e apostando no meu sucesso.

À minha esposa Luana, pelo amor, companheirismo, amizade e paciência nos últimos dias com a minha falta de humor e tempo. Agradeço a ela por ter sempre me incentivado a seguir adiante, mesmo em um momento em que nada fazia sentido.

Agradeço também ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água/MACSA pela oportunidade de realização do Curso.

À Embrapa Clima Temperado pela disponibilidade das áreas de estudo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado.

Resumo

WINKLER, Antony Severo. **EFEITO DA DECLIVIDADE DO TERRENO EM RELAÇÃO AO ARMAZENAMENTO SUPERFICIAL DA ÁGUA EM ÁREAS SISTEMATIZADAS**. 2013. 68f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

No Rio Grande do Sul, as áreas sistematizadas para a cultura do arroz irrigado por inundação contínua são construídas, em sua grande maioria, sem declive ou “cota zero”, como são comumente chamadas. Nestes solos, a má drenagem é uma característica predominante, apresentando baixa condutividade hidráulica, e ainda com a presença de uma camada de impedimento próxima à superfície (horizonte B). Após a ocorrência de chuvas intensas, o solo apresenta acúmulo de água nas depressões, ocasionando o armazenamento superficial de água, ou seja, formação de lâmina de água na superfície. Neste sentido o objetivo do presente trabalho foi avaliar e quantificar as áreas de armazenamento de água na superfície do solo, bem como o volume armazenado. Para tanto foram realizados levantamentos planialtimétricos de cinco áreas sistematizadas, com declividades de 0,00%, 0,20%, 0,25%, 0,28% e 0,40%, e gerados os modelos digitais de elevação. Através destes modelos foram criados linhas de contorno para o mapeamento das depressões que apresentavam armazenamento. Com a finalidade de determinar o comportamento das variáveis avaliadas em função da declividade da sistematização, foram realizados rebatimentos dos modelos digitais de elevação das áreas originais nas declividades de 0,00%, 0,10%, 0,30%, 0,50%, com o propósito de aumentar o número de áreas estudadas. O armazenamento de água na superfície do solo, tanto em área, quanto em volume, apresentam uma relação inversamente proporcional com a declividade da sistematização. Áreas com maior declividade de sistematização apresentam menor tempo de secamento, em função de armazenarem menos água na superfície do solo.

Palavras Chave: Arroz irrigado. Drenagem superficial. Solos de várzea.

Abstract

WINKLER, Antony Severo. **EFFECT OF LAND SLOPE ON SURFACE WATER STORAGE IN LAND LEVELING**. 2013. 68f. Dissertation (Master) – Post-Graduation Program of Conservation and Management of Soil and Water. Federal University of Pelotas, Pelotas.

In the state of Rio Grande do Sul, the land leveling in areas used for flooded rice cultivation is made, most of the times, without slope or, as they are commonly called in Brazil, “cota zero”. In these areas, the soils are characterized by poor drainage, low hydraulic conductivity, and by the presence of an impermeable layer close to the surface (Argillic Horizon). Therefore, after heavy rains, water collects in the depressions, causing the surface storage, that is, the formation of a water depth on the surface. In this sense, this paper aims to evaluate and quantify the areas of surface water storage, as well as the water volume stored. As to do so, planimetric and altimetric surveys were made in five land leveling areas with slopes of 0.00%, 0.20%, 0.25%, 0.28% and 0.40%, then digital elevation models were produced. Based on these models, contour lines were created as to do the mapping of the depressions which had water storage. In order to set the evaluated variables patterns according to surface slopes, it was performed a simulation of new slopes for the original areas' digital elevation models using slopes of 0.00%, 0.10%, 0.30%, 0.50%, as to increase the number of evaluated areas. The surface water storage, both in area and volume, has an inverse relationship with the slope. Areas with steeper slopes require a shorter drying period, due to storing less water on the soil surface.

Key words: Rice. Surface drainage. Lowland soils.

Lista de Figuras

Figura 1	Localização das cinco áreas que compõem o experimento – Embrapa Clima Temperado – Estação Terras Baixas.	32
Figura 2	Demarcação dos pontos nas áreas para o levantamento planialtimétrico, após a sistematização.	33
Figura 3	Áreas sistematizadas com declividade de 0,00% e 0,40%.	34
Figura 4	Fluxograma de procedimentos do geoprocessamento dos dados e a geração dos modelos digitais de elevação (MDE).	35
Figura 5	Rebatimento dos Modelos Digitais de Elevação para as declividades propostas.....	37
Figura 6	Modelo Digital de Elevação gerado por interpolação linear (superfície perfeita), com declividade de 0,50%.	37
Figura 7	Polígonos de armazenamento gerados por isolinhas.....	38
Figura 8	Modelo Digital de Elevação da área A (declividade 0,00%), e as respectivas áreas de armazenamento de água na superfície do solo....	41
Figura 9	Modelo Digital de Elevação da área B (declividade 0,20%), e as respectivas áreas de armazenamento de água na superfície do solo....	42
Figura 10	Modelo Digital de Elevação da área C (declividade 0,25%), e as respectivas áreas de armazenamento de água na superfície do solo....	42
Figura 11	Modelo Digital de Elevação da área D (declividade 0,28%), e as respectivas áreas de armazenamento de água na superfície do solo...	43
Figura 12	Modelo Digital de Elevação da área E (declividade 0,40%), e as respectivas áreas de armazenamento de água na superfície do solo....	43
Figura 13	Modelo Digital de Elevação da área A com declividade de 0,00% (a), 0,10% (b), 0,30% (c) e 0,50% (d), e as respectivas áreas de armazenamento de água na superfície do solo.....	46
Figura 14	Modelo Digital de Elevação da área B com declividade de 0,00% (a), 0,10% (b), 0,30% (c) e 0,50% (d), e as respectivas áreas de armazenamento de água na superfície do solo.....	47
Figura 15	Modelo Digital de Elevação da área C com declividade de 0,00% (a), 0,10% (b), 0,30% (c) e 0,50% (d), e as respectivas áreas de armazenamento de água na superfície do solo.....	48

Figura 16	Modelo Digital de Elevação da área D com declividade de 0,00% (a), 0,10% (b), 0,30% (c) e 0,50% (d), e as respectivas áreas de armazenamento de água na superfície do solo.....	49
Figura 17	Modelo Digital de Elevação da área E com declividade de 0,00% (a), 0,10% (b), 0,30% (c) e 0,50% (d), e as respectivas áreas de armazenamento de água na superfície do solo.....	50
Figura 18	Área de armazenamento de água na superfície do solo em função do tempo.	54

Lista de tabelas

Tabela 1	Características das áreas de estudo, declividade, tamanho da área e número de pontos do levantamento planialtimétrico.	34
Tabela 2	Valores das declividades e seus respectivos rebatimentos.....	36
Tabela 3	Relação da área alagada em função da área total e volume de água armazenado na superfície do solo.	44
Tabela 4	Valores médios de área de armazenamento superficial (%) em função das declividades de rebatimento	52
Tabela 5	Volume de água armazenado na superfície do solo ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) em função das declividades de rebatimento	52
Tabela 6	Análise descritiva dos dados das áreas ABE, C e D	64
Tabela 7	Modelos de semivariogramas teóricos ajustados, parâmetros de ajuste, coeficiente de determinação (R^2), soma dos quadrados dos resíduos (SQR) e grau de dependência espacial (GDE).	64
Tabela 8	Coeficiente de determinação (R^2) entre os valores estimados pelo semivariograma teórico e os observados, e o respectivo coeficiente de regressão da reta de ajuste (R).....	65
Tabela 9	Tabela de análises da área de armazenamento (%).	66
Tabela 10	Tabela de análises do volume de água armazenado.	67
Tabela 11	Dados de evaporação do “Tanque Classe A” obtidos da Estação Agroclimatológica do Capão do Leão.	68

Sumário

1. Introdução	13
2. Objetivos gerais	15
2.1 Objetivos específicos	15
3. Revisão de Literatura	16
3.1 Solos de várzea do Rio Grande do Sul	16
3.2 Sistema de produção em várzea no Rio Grande do Sul	18
3.3 Fatores limitantes da produtividade em solos de várzea no Rio Grande do Sul	21
3.4 Sistematização dos solos de várzea	23
3.4.1 Sistematização com nivelamento da superfície do terreno em desnível	25
3.4.2 Sistematização com nivelamento da superfície do terreno em nível	26
3.5 O armazenamento de água na superfície do solo	28
4. Material e Métodos.....	32
4.1 Local e áreas de estudo	32
4.2 Geração do modelo digital de elevação.....	35
4.3 Rebatimentos das áreas	36
4.4 Avaliação do armazenamento superficial	38
4.5 Tempo de secamento	39
4.6 Análise Estatística	40
5. Resultados e discussão	41
5.1 Armazenamentos superficiais das superfícies reais	41
5.2 Armazenamentos superficiais das superfícies geradas pelos rebatimentos	45
5.3 Tempo de secamento	53
6. Conclusões.....	55
7. Referências Bibliográficas	56
8. Apêndices.....	64
9. Anexo.....	68

1. Introdução

A sistematização dos solos de várzea consiste no processo de adequação da superfície natural do terreno de forma a transformá-la num plano ou numa superfície curva organizada. O plano pode ser construído com ou sem declividade, conforme o objetivo e as conveniências específicas. A sistematização do terreno constitui um aspecto tecnológico onde o sistema de produção das Terras Baixas, em que se inclui a lavoura arrozeira do Rio Grande do Sul, ainda tem espaço para ser aperfeiçoada, tornando-o mais produtivo e com uma melhor relação custo/benefício.

Atualmente, no Rio Grande do Sul, as áreas sistematizadas para a cultura do arroz irrigado por inundação contínua são construídas, em sua grande maioria, sem declive, denominadas comumente de “cota zero”. O processo de sistematização nessas áreas consiste no nivelamento da superfície do solo, em um plano pré-definido, utilizando o solo das cotas mais elevadas para aterrar os de cotas inferiores (IRGA, 1996; EMBRAPA, 1999), originando terraços em forma de patamares, como os encontrados nos países asiáticos.

A lavoura de arroz implantada em áreas com terreno sistematizado apresenta vantagens em relação a não sistematizada, destacando-se o manejo da água, menor incidência de pragas e doenças, menor oscilação de temperatura da água e solo, bem como maior eficiência nos tratamentos culturais. Além desses, o melhor aproveitamento do solo, em função da diminuição da área ocupada com taipas, e a redução de insumos são as vantagens principais (EMBRAPA, 1992; PARFITT et al., 1999), bem como a incorporação de áreas para o cultivo de arroz irrigado (ANBUMOZHI et al., 1998) e a utilização de culturas de sequeiro, ainda pouco utilizadas em áreas de várzea do Rio Grande do Sul.

Nas várzeas do sul do Rio Grande do Sul, a má drenagem é uma característica predominante, principalmente, por serem constituídas por solos planos e rasos, com baixa condutividade hidráulica, e ainda com a presença de uma camada de impedimento próxima à superfície (horizonte B). Após a ocorrência de chuvas intensas, o solo é saturado, com acúmulo de água nas depressões do terreno, ocasionando o armazenamento superficial de água, ou seja, formação de lâmina de água na superfície. A água armazenada pode promover a morte de

plantas como as de soja e milho e até mesmo do arroz irrigado nas fases iniciais, caso as plântulas fiquem submersas por um período longo de tempo, além do atraso no preparo do solo, semeadura, entre outros.

Esse acúmulo de água na superfície só pode ser eliminado com a utilização de drenos, que promovam a retirada do excesso hídrico por escoamento superficial ou pela demanda evaporativa, já que o movimento interno do solo é desprezível.

Tendo em vista a utilização dos solos de várzea em que a cultura do arroz irrigado é predominante, associada às características do solo, como deficiência na drenagem superficial, com a presença de um horizonte B impermeável, raso e de topografia plana, é difícil obter bons resultados com culturas alternativas, recomendadas para um manejo conservacionista do solo, caracterizando a rotação de culturas.

Neste sentido, a sistematização com declividade dos solos de várzea é uma alternativa, possibilitando a drenagem adequada através do escoamento superficial, favorecendo a semeadura do arroz irrigado na época recomendada, e também a introdução das culturas de sequeiro na várzea, com mais segurança. A sistematização possibilita também a irrigação por superfície das culturas do sequeiro, otimizando o potencial produtivo das várzeas.

Entretanto, a sistematização do solo, apesar de ser uma prática usual e com aumento crescente nas áreas orizícolas do estado do Rio Grande do Sul, são poucos os trabalhos publicados sobre o tema, principalmente quanto à declividade e seus efeitos na drenagem superficial e no desenvolvimento de culturas alternativas.

2. Objetivos gerais

Em função do exposto, objetiva-se com o presente trabalho, verificar a influência da declividade do terreno nos indicadores de drenagem superficial dos solos de várzea.

2.1 Objetivos específicos

Como objetivos específicos têm-se:

- a) Quantificar a área com armazenamento de água na superfície do solo, utilizando os modelos digitais de elevação de cinco talhões com diferentes declividades.
- b) Quantificar o volume de água armazenado na superfície do solo e, além disso, o tempo de secamento, para os mesmos talhões.

3. Revisão de Literatura

3.1 Solos de várzea do Rio Grande do Sul

Os solos de várzea no Rio Grande do Sul ocupam uma área de aproximadamente 5,4 milhões de hectares, o que representa cerca de 20% da área do estado. Neste ambiente, predomina o monocultivo arroz irrigado e, em alguns casos, associado à pecuária de corte, o que tem contribuído para a redução da rentabilidade econômica pela falta da diversificação de outras culturas. As principais classes em que estão incluídos os solos de várzea do RS são: Planossolos (56% da área), Chernossolos (16,1%), Neossolos (11,6%), Plintossolos (7,9%), Gleissolos (7,0%) e Vertissolos (1,4%) (EMBRAPA, 2006).

A maior parte destes solos desenvolveram-se a partir de sedimentos fluviolacustres, lagunares e marinhos da Planície Costeira, que compõem as várzeas do litoral e parte da encosta do sudeste, e de sedimentos aluvionares, oriundos de rochas sedimentares e basálticas de Depressão Periférica e Planalto, que são parte da Depressão Central e Missões (PINTO et al., 2004).

A principal característica dos solos de várzea classificados como Planossolos e Gleissolos, é a deficiente drenagem natural, visto que o horizonte A está localizado acima de uma camada impermeável, com alta densidade, baixa porosidade, alta relação micro/macroporosidade (excessiva predominância de microporos em relação aos macroporos e, em consequência, pouco espaço aéreo), baixa capacidade de armazenamento de água, baixa condutividade hidráulica, velocidade de infiltração e consistência desfavorável (GOMES, 1992). Nestas condições, o cultivo de espécies sensíveis ao estresse hídrico, tanto pelo excesso como por falta de água, requer cuidado especial, visando à implantação de sistemas de irrigação e drenagem, o que pode proporcionar condições favoráveis para sistemas de plantio com a utilização de diversificação de culturas (GASTAL et al., 2004).

Os Gleissolos ocorrem na região oeste do Estado, nas várzeas das bacias do rio Uruguai, e na região Sul, no entorno das Lagoas Mirim e Mangueira. Localizam-se nas partes mais baixas das várzeas e nas depressões, junto ao leito dos rios, aparecendo na topossequência, associados aos Planossolos, e

apresentam o horizonte superficial descaracterizado pelo uso agrícola, principalmente com perda de argila. A fertilidade natural dos Gleissolos é maior do que a dos Planossolos, devido aos maiores teores de argila e de matéria orgânica.

Na região da Campanha do RS também são encontrados solos hidromórficos de terras baixas, situados em áreas adjacentes às várzeas, de relevo suave ondulado a plano, e que também são utilizados para o cultivo do arroz irrigado (PINTO et al., 1999).

O modelo de exploração restrito ao binômio arroz irrigado/pecuária apresenta rendimentos inferiores ao potencial existente, na exploração das áreas de várzea. Além de questões econômicas tratadas politicamente de forma precária, também os solos e o clima apresentam barreiras naturais à utilização de um modelo mais adequado. No caso da pecuária, pastagens que possibilitem uma utilização intensiva são dependentes das condições de drenagem e em alguns casos de irrigação. No caso específico do arroz irrigado, durante o preparo do solo, as precipitações, associadas às más condições naturais de drenagem, têm retardado o plantio em aproximadamente 50% dos anos, contribuindo para a redução da produtividade média em torno de 20% (LOUZADA, 2008).

Pauletto et al. (2004) destacam que os solos de várzea apresentam condições favoráveis à agricultura, pois são áreas planas e suavemente onduladas, extensas e contínuas, amplamente mecanizáveis, com baixa suscetibilidade à erosão e a perdas por lixiviação. No entanto, do ponto de vista de manejo e cultivo, apresentam certa complexidade por possuírem, frequentemente, argilas expansivas, alta infestação de plantas daninhas, além dos problemas de sustentabilidade econômica como subutilização do solo, quando ocupado com a pecuária extensiva. Diante desses aspectos, têm-se priorizado estudos no intuito de aperfeiçoar as técnicas de manejo, utilizadas a fim de otimizar o uso desses solos, reduzir custos, e melhorar a utilização das técnicas de irrigação e drenagem.

3.2 Sistema de produção em várzea no Rio Grande do Sul

Com o objetivo de buscar maior rendimento econômico no sistema produtivo nas áreas de várzea, pesquisadores (FAGEIRA et al., 1998; VERNETTI JUNIOR et al., 2009) têm buscado alternativas para diversificação do uso das mesmas através da rotação de culturas de sequeiro, produtoras de grãos e pastagens, com o arroz irrigado. O principal ponto de fragilidade para o bom desempenho destes cultivos e que gera muita discussão é a deficiente drenagem natural dos solos de várzea, determinada pela topografia predominantemente plana, aliada às suas características físicas de alto adensamento, alta relação micro/macroporosidade (inadequada relação água/ar para a maioria das espécies de sequeiro) e, principalmente, condutividade hidráulica quase nula no horizonte B (GOMES et al., 1992; PINTO et al., 1999). No entanto, com o uso de técnicas agrícolas, que possibilitem a retirada da água superficial, pode-se aumentar a eficiência da drenagem destes solos, possibilitando a implantação de um sistema produtivo alternativo e conseqüentemente que possibilite um incremento econômico para os produtores com a diversificação de culturas.

Outro aspecto importante é a possibilidade de se introduzir a rotação de culturas, beneficiando assim, o controle de pragas e de plantas daninhas. Entre as espécies produtoras de grãos, o milho e a soja são as principais opções para a diversificação do sistema de produção das várzeas, em rotação com o arroz irrigado, pois são culturas bem adaptadas no RS e com boa rentabilidade econômica. (PARFITT e SILVA, 2004).

Ao se utilizar a área sistematizada com cultivos alternativos ao arroz irrigado, Porto et al. (1998) recomendam cuidados especiais com a drenagem, de maneira a viabilizar economicamente os cultivos de soja, sorgo, milho e forrageiras. As duas principais dificuldades citadas pelos autores para a implantação e a persistência das forrageiras em várzea, são a adaptação de espécies forrageiras nestas áreas e a fertilidade do solo. Nesse sentido, Marchezan et al. (1998) obtiveram bom desempenho de pastagem de azevém, trevo branco e cornichão em ambiente de várzea, com o solo corrigido pela calagem e adubação e com a sistematização em desnível. O consórcio de gramíneas e leguminosas, segundo Potter (1986), proporciona um período maior na utilização das pastagens e maior fixação de nitrogênio, elevando a fertilidade da área.

A busca de um desenvolvimento sustentável na agricultura envolve, entre outras, a prática da rotação de culturas, pois em alguns casos a utilização intensiva de insumos modernos não permite que a exploração agrícola se viabilize econômica, social e ambientalmente (MARCHEZAN, 1995). Assim, a utilização de cultivos alternativos ao arroz em áreas de várzea propicia a utilização intensiva do solo, com a otimização do uso da mão de obra disponível, redução de incidência de plantas daninhas na área e de custos de produção, com elevação da produtividade do arroz e diversificação de renda na propriedade (VERNETTI JÚNIOR, 2003).

Com relação ao cultivo de soja em várzea têm-se os primeiros trabalhos realizados no início de 1970, publicados pelo Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Sul, órgão que antecedeu a Embrapa. Os resultados mostraram que a soja apresenta elevado potencial produtivo nessas áreas, cujos rendimentos foram, na média de cinco localidades, em torno de 4000 kg ha⁻¹ (GOMES e MAGALHÃES JÚNIOR, 2004).

O cultivo de forrageiras de inverno nesse agroecossistema pode contribuir na forma de restos vegetais mantidos na superfície do solo, para a diminuição da ocorrência de invasoras, a manutenção da umidade do solo e o incremento de matéria orgânica, proporcionando benefícios para as culturas subsequentes, como, por exemplo, a diminuição da necessidade de aplicação de fertilizantes, decorrente do aproveitamento da adubação aplicada anteriormente.

A utilização de espécies de coberturas de solo no inverno tem por finalidade o aporte de resíduos ao sistema e a consequente reciclagem de nutrientes, para melhorias da fertilidade do solo. Entre as mudanças que ocorrem, destaca-se o aumento do estoque de carbono (C) e, conseqüentemente, de nitrogênio (N), aumentando, com isso, o potencial produtivo de solos com baixa fertilidade (BAYER et al., 2006).

As práticas de manejo para alta produtividade, associadas a programas de pesquisa e de transferência de tecnologia ao setor produtivo, têm sido responsáveis por um aumento significativo na produtividade de grãos (MENEZES et al., 2004; IRGA, 2010). Além do manejo, o melhoramento genético tem sido indispensável para a obtenção de alta produtividade e para o uso mais eficiente dos insumos agrícolas (KOUTROUBAS e NTANOS, 2003).

O azevém (*Lolium multiflorum*) é uma gramínea que vem sendo muito utilizada como cobertura de solo no inverno nas áreas de várzea no RS, seja para

pastejo pelos animais em sistemas de integração lavoura-pecuária ou para formação de resíduos culturais, antecedendo a cultura de verão. Essa espécie de cobertura auxilia a drenagem da água da lavoura, devido à evapotranspiração, e o controle de plantas daninhas (MENEZES et al., 2001).

Nas áreas de várzea do RS, há grande potencial para uso de espécies leguminosas em sistema de sucessão de culturas, devido às inúmeras vantagens que as mesmas proporcionam para o sistema de produção de grãos.

A maior dificuldade para adoção de sistemas de rotação e sucessão de culturas em áreas de várzea é a condição de drenagem deficiente e, principalmente, a falta de espécies adaptadas para cobertura do solo no inverno e cultivares de soja melhor adaptadas ao excesso hídrico. A condutividade hidráulica desses solos geralmente é baixa, sendo a drenagem, o fator principal para implantação de sistemas de sucessão e rotação de culturas, principalmente em seu estabelecimento inicial. De acordo com SOSBAI (2010), a precisão no aplainamento do solo, os drenos superficiais e a correção do microrrelevo são indispensáveis.

As coberturas de solo no inverno, principalmente de gramíneas, podem produzir elevado rendimento de massa seca e alta absorção de nutrientes, principalmente de nitrogênio (N) e de potássio (K). A cultura do arroz irrigado apresenta elevada demanda por K, porém a quantidade exportada no grão é muito pequena. Após a colheita dos grãos de arroz, esse nutriente fica na palha, pois não faz parte de nenhum constituinte da planta, e é facilmente perdido por lixiviação e escoamento superficial. Por isso, a importância de plantas cultivadas em sucessão ao arroz, capazes de ciclar nutrientes, evitando que os mesmos sejam perdidos. Com a adoção de sistema sem intervalo de pousio, o K será absorvido e reciclado, permanecendo a maior parte no tecido vegetal, evitando que seja perdido (MIELNICZUK, 2005).

3.3 Fatores limitantes da produtividade em solos de várzea no Rio Grande do Sul

De acordo com Parfitt (2009), os solos de várzea apresentam o nível freático próximo à superfície do solo por um período maior, limitando o desenvolvimento radicular das plantas de sequeiro, tornando-se mais problemático nos meses de inverno, devido à redução da evapotranspiração, associada a um período de maior precipitação pluvial.

A drenagem agrícola caracteriza-se por ser um processo de remoção do excesso de água da superfície do solo e/ou do subsolo. A remoção pode ser de 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 última é ineficiente na maioria dos solos de várzeas do Rio Grande do Sul, devido à sua baixa condutividade hidráulica.

Considerando a drenagem superficial, a macrodrenagem, composta de sistema de drenos escavados para coletar os excedentes de águas de chuvas, de irrigação e de fluxos subterrâneos, deve ser adequadamente dimensionada de modo a atender a demanda da microbacia, na qual as lavouras estão implantadas. A microdrenagem, também chamada de drenagem interna da lavoura ou drenagem local, é composta de drenos secundários ou de parcelas e de diferentes adequações da superfície do solo. Sua implantação e dimensionamento são condicionados a vários fatores, entre eles, as condições topográficas da lavoura, as características físicas do solo, as espécies cultivadas e aos sistemas de cultivo e de produção empregados.

A necessidade de drenagem varia de acordo com o clima da região, ou seja, em anos com distribuição normal das chuvas durante o verão, o potencial produtivo do milho pode ser superior a 6000 kg ha^{-1} no RS. No entanto, quando ocorrem excessos de chuvas em algum período do desenvolvimento das plantas, a produtividade é severamente reduzida, em muitos casos para produtividades inferiores a 180 kg ha^{-1} , inviabilizando economicamente a cultura (PIRES, 2005).

No caso do arroz irrigado, para assegurar o máximo potencial de produtividade, principalmente em regiões de clima subtropical e temperado, que ocorrem no Rio Grande do Sul (MALUF, 2000), a época de semeadura é uma das

práticas que desempenha um papel de destaque, considerando que a semeadura deve ser feita de modo que as fases mais sensíveis da planta (pré-floração e floração, e enchimento de grãos), coincidam com os períodos em que a temperatura do ar e a radiação solar global sejam as mais favoráveis para a cultura (STEINMETZ et al., 2001).

Segundo Verneti Jr. e Gomes (2000), o período de semeadura do arroz irrigado no RS, é muito curto e, o atraso na sua execução, tem influência direta no rendimento, devido ao aumento da possibilidade de ocorrência de frio na floração. Além disso, considerando-se as precipitações que normalmente ocorrem na época ideal de semeadura e o tipo de solo utilizado para essa cultura, dificilmente se consegue cumprir o cronograma ideal para aquela prática, sendo em determinados anos, o preparo do solo prejudicado pela drenagem adequadas dos solos de várzea e pelas precipitações nos meses que antecedem a semeadura.

Na maior parte do Estado, o período recomendado para a semeadura é de, no máximo 50 dias, variando da segunda quinzena de setembro à primeira quinzena de novembro. Isto demanda planejamento e preparo antecipados das áreas para que se promova uma semeadura na época correta e boas condições de drenagem, para desenvolver as operações de mecanização do solo. O excesso de chuva pode diminuir o número de dias viáveis para efetuar a semeadura, dentro do período preferencial, recomendado pelo zoneamento agrícola (GOMES et al., 1999).

A resposta do arroz à adubação nitrogenada é determinada principalmente pela época de semeadura (STANSEL, 1975; SLATON et al., 2003; FREITAS et al., 2005; MARIOT et al., 2005), sendo a sua adequação um dos pontos chave quando se objetiva otimizar o potencial produtivo das lavouras.

3.4 Sistematização dos solos de várzea

A agricultura intensiva visa o melhor rendimento e utilização dos recursos naturais, proporcionando alta produtividade e manutenção do sistema produtivo. Para potencializar altos rendimentos, os agricultores devem garantir boa emergência das plântulas, estande de plantas, controle fitossanitário e manejo da fertilidade. Além disso, a sistematização do solo proporciona alguns benefícios ao desenvolvimento das culturas, como por exemplo, a economia do uso da água de irrigação e eficiência do uso de insumos (ABDULLAEV et al., 2007).

A irrigação em solos de várzea é na sua grande maioria, por superfície, a qual depende da energia da gravidade e declividade do terreno para a aplicação uniforme da lâmina. Em contraponto, as características de retenção de água do solo têm, geralmente, grande variabilidade espacial. Por esse motivo a sistematização é um pré-requisito para a conformação da superfície do solo, o que facilita as práticas de manejo e todas as demais operações agrícolas.

As áreas propícias para o cultivo do arroz irrigado caracterizam-se pela topografia plana e de difícil drenagem, onde os solos permanecem saturados nos períodos de maior precipitação pluvial. A drenagem deficiente está relacionada não apenas à topografia plana, mas, principalmente à ocorrência de horizontes subsuperficiais argilosos com baixa condutividade hidráulica, dificultando assim a percolação da água no perfil. Estas características, normalmente desfavoráveis para outras culturas, tornam-se adequadas para o cultivo do arroz, facilitando a manutenção de uma lâmina d'água sobre a superfície do solo e dificultando a lixiviação de nutrientes (PARFITT, 2004).

No entanto, para o aproveitamento eficiente e racional destes solos, há necessidade de submetê-los, anteriormente ao cultivo, a um processo de sistematização da área, que consiste na criação de um sistema funcional de manejo que inclui a abertura de canais de irrigação e drenagem, construção de estradas internas, nivelamento da superfície do terreno, em nível ou desnível e entaipamento, até a construção de estruturas complementares como pontes e bueiros. Portanto, a sistematização da área consiste num conjunto de práticas e não apenas no nivelamento do terreno (PARFITT, 2004).

De acordo com Khan (1986), a sistematização do solo contribui também na distribuição de sais solúveis em solos afetados por sais, aumenta a área de terras

cultiváveis (CHOUDHARY et al., 2002; JAT e CHANDANA, 2004), melhora o estabelecimento da cultura, reduz as plantas daninhas (RICKMAN, 2002) e proporciona economia de água de irrigação (ALI et al., 1975; KHATTAK et al., 1981; JAT et al., 2003).

Para a implantação de uma sistematização do terreno, utilizam-se, scraper auxiliado por sistema a laser, no sentido de dar precisão na terraplanagem. A sistematização do solo envolve alterar os campos, de modo a que se crie uma inclinação constante de 0%, quando se deseja eficiência em irrigação e a 0,2%, quando se quer além de eficiência em irrigação, uma drenagem mais eficiente, através do escoamento superficial (WALKER et al., 2003). Essa prática faz uso de tratores potentes que estão equipados com sistemas de posicionamento global (GPS), sistema laser, possibilitando o transporte do solo quer por corte ou aterro, de forma a criar o nível de inclinação desejado (WALKER et al., 2003). O uso do laser proporciona um nivelamento preciso, suave e gradual, permitindo o controle ideal da distribuição de água de irrigação e uma drenagem mais eficiente quando este apresenta determinada declividade, facilitando o escoamento (AMER, 2011).

O método tradicional de nivelamento, que utiliza plainas sem sistema a laser não é tão eficiente, uma vez que a altura da lâmina de irrigação não é uniforme sobre toda a área, levando a desuniformidade na infiltração de água no solo. A não uniformidade da lâmina de irrigação afeta significativamente a eficiência da utilização da água, elevando o grau de uniformidade de aplicação de água de irrigação por inundação, quando ocorre um nivelamento preciso (KHEPAR et al., 1982).

Segundo Kahlow et al. (2000) mesmo em várzeas onde são utilizadas práticas tradicionais sem sistematização, o nivelamento não atinge níveis satisfatórios, proporcionando uma distribuição desigual da água de irrigação e deficiência de drenagem. Estas práticas tradicionais de nivelamento proporcionam condições de alagamento nas áreas mais baixas e déficit de água em pontos mais elevados. Segundo os mesmos autores, quantidades significativas que variam entre 10-25% de água de irrigação são perdidas devido à má gestão do uso da mesma em áreas irregulares. Para Helming et al. (1997) e Fox et al. (1998), a homogeneidade da superfície do solo afeta muitos processos, tais como a armazenagem de água nas depressões de microrrelevo (HUANG E BRADFORD, 1990) e a infiltração de água no solo.

As duas modalidades de sistematização para as lavouras de arroz são a sistematização com nivelamento da superfície em desnível e sistematização com nivelamento da superfície em nível, que são realizadas em função do sistema de cultivo.

3.4.1 Sistematização com nivelamento da superfície do terreno em desnível

Esse sistema visa uniformizar a superfície do terreno, transferindo o solo das partes mais elevadas para as partes mais baixas, segundo um plano em desnível, definido a priori. Normalmente, a declividade natural do terreno é mantida, podendo-se ajustar o gradiente conforme as necessidades das culturas a serem implantadas. No caso do arroz, a água de irrigação é retida sobre a superfície do solo por taipas, sendo a diferença de cotas de uma taipa para outra dependente da declividade proposta no projeto. Esta modalidade de sistematização possui como vantagens o menor movimento de terra, menor custo e melhor drenagem superficial da lavoura, beneficiando a rotação de culturas. As desvantagens em relação ao sistema em nível, são o maior volume de água utilizado e a desuniformidade da lâmina, causando maiores dificuldades no controle de plantas daninhas e na aplicação de algumas práticas de manejo. As áreas sistematizadas em desnível são mais adequadas ao uso em sistemas de cultivo que utilizam a semeadura em solo seco (PARFITT, 2004).

As práticas de uma agricultura conservacionista, juntamente com a utilização da sistematização do solo, facilitam a aplicação uniforme de água e reduzem as perdas por percolação profunda. A sistematização do solo é conhecida por aumentar a eficiência do uso da água e, conseqüentemente, a produtividade. A irrigação por superfície em áreas desniveladas, normalmente resulta em maior consumo de água de irrigação (COREY e CLYMA, 1973; SATTAR et al., 2003).

Segundo Jat et al. (2006), a inclinação de 0,20% proporciona uma eficiente drenagem de áreas sistematizadas, gerando melhores condições de tráfego de máquinas no momento da colheita, possibilitando um tempo maior para as práticas que devem ser seguidas na safra seguinte. Da mesma forma, esta condição de drenagem proporciona um manejo mais preciso, condicionando épocas mais adequadas para o manejo do solo.

Sistemas de irrigação por sulco, normalmente implantados em áreas sistematizadas, necessitam de uma ligeira inclinação uniforme para usar a água de forma mais eficiente. O nivelamento a laser pode reduzir o consumo de água de 20-30% e aumentar o rendimento das culturas em 10-20%. A qualidade do processo sem inclinação pode ser estimada através do desvio padrão de elevação da superfície do solo por meio da diferença entre a cota teórica e a cota real verificada. Um campo nivelado com equipamento convencional pode atingir um desvio padrão de 20-30 mm, enquanto o nivelado com sistema a laser pode alcançar no máximo 10 mm de desvio padrão (JAT et al., 2006).

3.4.2 Sistematização com nivelamento da superfície do terreno em nível

Nesse sistema a área é subdividida também em quadros, preferencialmente de formato regular. O solo dentro de cada quadro é nivelado, em um plano pré-definido pelo projeto, utilizando-se o solo das cotas mais elevadas para se aterrar as áreas com cotas inferiores. O tamanho dos quadros varia em função do desnível da área, ou seja, quanto menor a declividade natural do terreno, maior será a área de cada quadro. Em áreas de difícil drenagem há necessidade de aumentar a densidade dos drenos superficiais, o que determina a redução no tamanho dos quadros. Para facilitar a mecanização é aconselhável que os mesmos possuam áreas compatíveis com o tamanho das máquinas e que apresentem adequada relação entre comprimento e largura. É aconselhável também que a largura dos quadros se situe entre 20 e 50 m, dependendo do desnível do terreno e das características do solo. Quadros com comprimento superior a 200 m dificultam a manutenção do nivelamento e a aplicação das práticas culturais (SILVA et al., 2006).

Na operação de nivelamento da superfície do terreno em nível, há possibilidade de realizar cortes muito profundos, não devendo ser superiores à metade da profundidade do horizonte A, o que pode comprometer a produção por tempo indeterminado. Quando for realizado corte mais profundo, faz-se necessária a retirada desse horizonte e a sua posterior reposição após o nivelamento das camadas inferiores do solo. Os problemas mais comuns observados nas áreas de corte são a baixa fertilidade e a toxidez por ferro, enquanto que nas áreas de aterro,

observa-se maior incidência de doenças e acamamento do arroz, decorrentes do excesso de fertilidade (GOMES, 2006).

O nivelamento da superfície em nível apresenta vantagens, tais como: distribuição adequada da água, permitindo a irrigação uniforme da cultura desde o seu estabelecimento e conseqüentemente facilidade no controle de plantas daninhas, redução da incidência de pragas e doenças e oscilação das temperaturas da água e do solo. Como desvantagens, na maioria dos casos, a alternância de cultivo com outras culturas é dificultada pela deficiência de drenagem superficial, originada pelo nivelamento do solo. Além disso, o custo inicial do nivelamento da superfície do terreno em nível é normalmente mais elevado do que aquele em desnível. A sistematização em nível é especialmente indicada para o sistema pré-germinado, considerando-se que o preparo final do solo e a sementeira são realizados sob lâmina de água (PARFITT, 2004).

As superfícies sistematizadas além de proporcionarem uma distribuição mais uniforme de umidade do solo resultam em uma boa germinação, eficiência na utilização de recursos naturais, gerando maior rendimento ao arroz irrigado, visto que as condições da terra ondulada levam ao consumo maior de energia e, conseqüentemente, um maior custo de produção. Sob as condições da superfície do solo irregular, os fertilizantes quando aplicados em superfície, principalmente o nitrogênio, são levados de zonas com níveis superiores até as depressões do solo através da água de irrigação resultando em uma baixa eficiência no uso de deste insumo. Por outro lado, áreas perfeitamente niveladas conduzem a uma distribuição uniforme dos fertilizantes, possibilitando maiores rendimentos do arroz irrigado (WALKER et al., 2003).

As áreas sistematizadas em nível, embora apresentem uma superfície muito plana, apresentam pequenas depressões na superfície, devido à movimentação do solo no processo de sistematização e também das características do terreno. Estas formam zonas de armazenamento temporário de água, o que por sua vez afetam o desenvolvimento das plantas, suscetíveis ao estresse hídrico (LIU e SINGH, 2004).

3.5 O armazenamento de água na superfície do solo

Alguns estudos (HANSEN et al., 1999; KAMPHORST et al., 2000) têm procurado relações entre a rugosidade da superfície do solo, declividade do terreno e o armazenamento de água em depressões, mas ainda são poucas as pesquisas no contexto agrícola.

As características topográficas de um terreno são um dos fatores mais importantes na agricultura, influenciando os atributos do solo, padrões de fluxo de água, sedimentos e transporte de contaminantes, comportamento hidrológico e métodos de irrigação. Por consequência, a topografia afeta também o rendimento das culturas, a qualidade do solo e da água e os processos de mecanização de campo (KARKEE et al., 2008).

Pesquisadores como Seginer (1971), Jones (1976), Linden (1979), Mitchell e Onstad (1984), buscaram formas de medir o armazenamento de água nas depressões do solo e prever os valores de armazenamento. No entanto, os resultados mostraram que existe uma grande variabilidade entre os valores encontrados, relacionados ao tipo de superfície como campos com áreas irregulares ou áreas sistematizadas e da declividade do terreno.

Alvarez-Mozos et al. (2011), avaliando o armazenamento superficial em uma área de 17 ha na estação experimental Agricultural Watershed Network em Navarre na Espanha, variaram a inclinação do terreno, impondo novas declividades para os modelos de elevação gerados. As declividades avaliadas neste estudo variaram de 0,0% a 12,0%. Os autores verificaram que quando ocorre aumento da inclinação do terreno ocorre diminuição do armazenamento superficial, seguindo uma tendência exponencial. O armazenamento observado diminuiu significativamente com as inclinações crescentes. Tendências exponencialmente semelhantes foram observadas por Huang e Bradford (1990), para diferentes tipos de superfícies.

Um modelo digital de elevação (MDE) é uma representação digital da superfície da Terra, importante para a análise quantitativa de topografia, também conhecida como análise digital do terreno ou geomorfometria (HENGL e REUTER, 2009).

Com a utilização dos MDE, auxiliados pelas ferramentas disponíveis nos sistemas de informações geográficas e sua precisão cada vez maior em resolução espacial e disponibilidade, a análise quantitativa da superfície da terra torna-se cada vez mais difundida. Segundo Hengl e Reuter (2009), a análise geomorfológica por

MDE é amplamente aplicada em várias áreas do conhecimento, como por exemplo, para avaliar a probabilidade de riscos de inclinação de encostas (GUZZETTI et al., 2005; KHEIR et al., 2007), verificar modelos de potencial de radiação solar (REUTER et al., 2005), na agricultura de precisão (ERDOGAN, 2009), entre outros.

As abordagens baseadas em MDE têm sido usadas para explorar como as características da superfície do solo e a declividade podem afetar no armazenamento de água na superfície. Nesse sentido, Darboux et al. (2002) criaram superfícies geradas numericamente para investigar os efeitos da variabilidade da rugosidade do solo na geração de fluxo de água. Outros autores utilizaram tecnologias de varredura a laser para caracterizar superfícies de solo, com escala de trabalho muito menor do que a escala de campo (KAMPHORSTET al., 2000; DARBOUX e HUANG, 2003).

A caracterização dos processos do fluxo da água na superfície do solo, através de MDE, foram muito limitados no passado pela baixa resolução, pois eram gerados através de levantamentos planialtimétricos com grade superior a 25 m (TUCKER e BRAS, 1998; WU et al., 2007).

O cálculo do armazenamento das depressões depende da resolução das informações do terreno. Para tanto, são consideradas malhas de levantamento de 1 a 5 m para obter um MDE de boa resolução. No entanto, quando se necessita realizar um levantamento de áreas muito extensas, é necessário ajustar o tamanho da malha para que se consiga analisar as variáveis desejadas.

As avaliações de superfícies através de MDE podem ser muitas vezes equivocadas, devido a limitações de resolução espacial (ABEDINI et al., 2006; MARTIN et al., 2008), problemas de levantamento de dados (KAMPHORST e DUVAL, 2001), ou simplificações de modelagem e aproximações numéricas. Segundo Kamphorst et al. (2000) e Planchon e Darboux (2001), o método mais preciso, atualmente, para a estimativa do armazenamento superficial em depressões é criar um MDE da microtopografia superficial e simular o preenchimento das depressões até ao ponto em que as mesmas transbordam.

Para a geração do MDE são imprescindíveis informações do terreno que garantam seu contexto geomorfológico. Usualmente, utilizam-se curvas em nível e pontos altimétricos como fonte de informação. Porém, o MDE gerado a partir de curvas em nível e pontos altimétricos, como as únicas fontes de informação altimétrica, têm dois inconvenientes: o de resultar em um grande volume de dados e

de apresentar inconsistências (triângulos horizontais e arestas de triângulos interceptando feições topográficas estruturais), que alteram a representação do terreno (GONÇALVES e CARVALHO, 2003).

Diversas aplicações que dependem de características topográficas de uma região usam MDE, os quais são uma representação computacional de uma parte da superfície contínua, formada por um conjunto de pontos selecionados e definidos pelas coordenadas. A geoestatística, juntamente com a técnica de krigagem é utilizada para o modelamento destas superfícies (EL-SHEIMY et al., 2005; HENGL et al., 2008).

A geoestatística, de modo geral, desenvolve e aplica modelos em representações de fenômenos naturais, cujas propriedades variam conforme a posição espacial dos pontos observados. A técnica de krigagem compreende um conjunto de técnicas geoestatísticas de ajuste, usadas para aproximar dados fixando um ponto no espaço, considerando que os pontos no seu entorno são mais relevantes do que os mais afastados. Isto pressupõe a existência de dependência entre os dados, ou seja, determinando até onde espacialmente esta correlação importa (ISAKS e SRIVASTAVA, 1989). A técnica consiste em estimar valores médios e também uma medida de acuracidade dessa estimativa. Seus pesos são calculados com base na distância entre a amostra e o ponto estimado na continuidade espacial e no arranjo geométrico do conjunto (BETTINI, 2007).

A metodologia geoestatística tem sido extensamente aplicada (SOUZA et al., 2005; HÉBRARD et al., 2006; ZHU e SHAO, 2008) e, por meio dela, é possível conhecer a continuidade de uma variável de interesse, em toda a área de estudo, demonstrando a variação espacial da variável. Segundo Hengl et al. (2008), a geoestatística oferece vantagem significativa sobre técnicas de geração padronizada do MDE.

A krigagem ordinária é o interpolador geoestatístico mais utilizado e está disponível em vários programas computacionais. A construção de superfícies contínuas, incluindo o MDE, pode ser rapidamente realizada, utilizando-se a krigagem ordinária (SISKA et al., 2005).

Um ponto fundamental na determinação dos pesos é a modelagem da continuidade espacial, obtida mediante o variograma, o qual dá suporte às técnicas de geoestatística, representando quantitativamente a variação do fenômeno

espacial, regionalizado ao mesmo tempo com sua estrutura. Segundo Landim (2004), na prática, aplica-se o semivariograma e a validação cruzada.

A validação cruzada (MYERS, 1997) consiste em remover-se um dado do conjunto de pontos amostrais e, usando-se um estimador e a função ponderada relacionada com a distância, o valor retirado é estimado, utilizando-se as amostras remanescentes. Tem-se agora, dois valores para o mesmo ponto, o real e o estimado e por meio de uma regressão linear entre os mesmos, obtém-se então o erro padrão.

As técnicas de interpolação comumente usadas na agricultura (FRANZEN e PECK, 1995; WEISZ et al., 1995), incluem a utilização do inverso do quadrado da distância (IDW) e a krigagem. Ambos os métodos estimam os valores de locais não amostrados, baseados na medição de locais vizinhos com pesos determinados para a medição. A utilização do IDW é mais fácil, enquanto que a krigagem consome mais tempo e sua aplicabilidade é mais complexa. Contudo, a krigagem faz uma descrição mais acurada da estrutura espacial dos dados e produz uma valiosa informação sobre a distribuição do erro.

4. Material e Métodos

Para atingir os objetivos propostos foram avaliados em áreas sistematizadas, o tamanho da área com armazenamento superficial, o volume de água armazenado na superfície do solo e o tempo de secamento em relação à declividade das mesmas. Para tanto, para a estimativa do armazenamento foi considerada a situação em que ocorra uma chuva de magnitude suficiente para saturar o solo e também, capaz de formar uma lâmina superficial de água.

4.1 Local e áreas de estudo

O estudo foi realizado em cinco áreas sistematizadas, localizadas na Estação Experimental Terras Baixas (ETB) da Embrapa Clima Temperado (Fig.1), localizada no município de Capão do Leão/RS, nas coordenadas geográficas 31° 48' 49" S e 52° 28' 02" O, com altitude de 16 m em relação ao nível do mar. O clima da região, conforme classificação de Köppen é o Cfa, sendo o local representativo de ambiente subtropical, marítimo, de verão subúmido e o resto do ano úmido ou superúmido, apresentando precipitação média anual de 1366 mm (EMBRAPA, 2012).



Fonte: Google Earth.

Figura 1 - Localização das cinco áreas que compõem o experimento – Embrapa Clima Temperado – Estação Terras Baixas.

Os solos das áreas experimentais são classificados como Planossolos e Gleissolos (EMBRAPA, 2006), arranjados em associação, sendo nas partes mais baixas os Gleissolos e, nas partes mais altas, os Planossolos. Aproximadamente 60 dias após a sistematização, foi realizado o levantamento topográfico planialtimétrico, com o nível de precisão (Zeiss NI 050), utilizando-se uma malha de 4 x 4 m (Fig. 2).

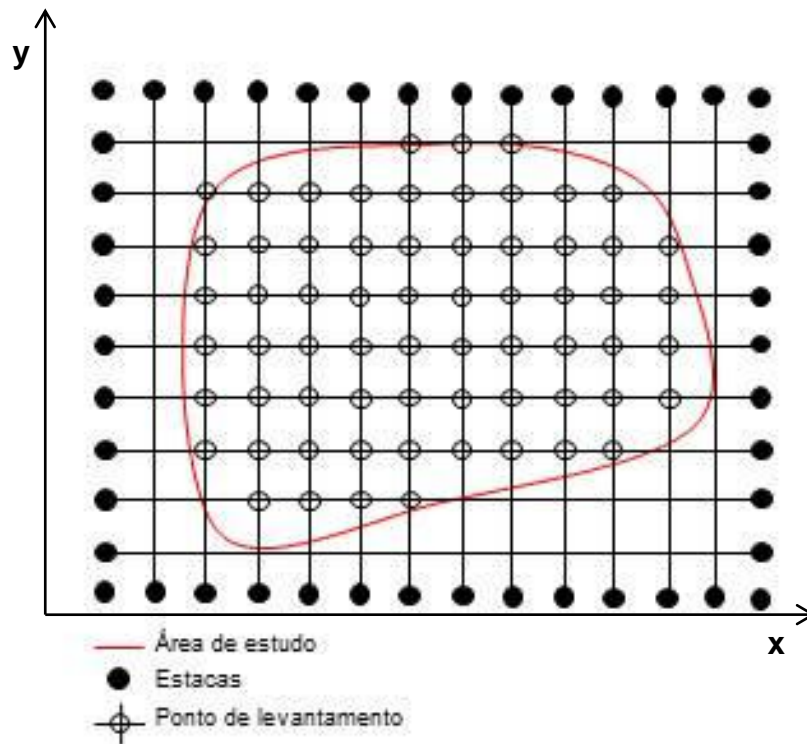


Figura 2 - Demarcação dos pontos nas áreas para o levantamento planialtimétrico, após a sistematização.

Embora essas áreas tenham sido sistematizadas com scraper por controle a lâiser, verificam-se imperfeições superficiais em nível de microrrelevo, devido ao acomodamento natural do solo. Estas depressões armazenam água na superfície do solo, quando são submetidas a uma precipitação de grande magnitude (Fig. 3).

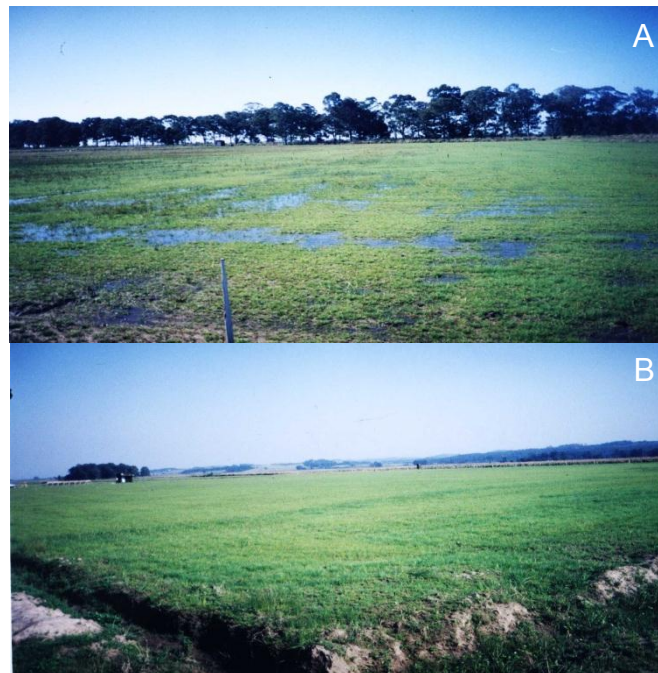


Figura 3 - Áreas sistematizadas com declividade de 0,00% e 0,40%.

A- área sistematizada com declividade de 0,00%.

B- área sistematizada com declividade de 0,40%.

Fonte: PARFITT,(2010).

Na tab. 1 são apresentadas as características das cinco áreas sistematizadas da ETB, com diferentes declividades.

Tabela 1 - Características das áreas de estudo, declividade, tamanho da área e número de pontos do levantamento planialtimétrico.

Talhão	Declividade	Área (m ²)	Nº de pontos
A	0,00%	18.920	1140
B	0,20%	21.200	1273
C	0,25%	17.940	1113
D	0,28%	23.820	1448
E	0,40%	20.800	1253

4.2 Geração do modelo digital de elevação

A partir do levantamento planialtimétrico de cada área, foi realizado o geoprocessamento e a elaboração do modelo digital de elevação do terreno, cujo fluxograma para a execução é apresentado na Fig. 4.

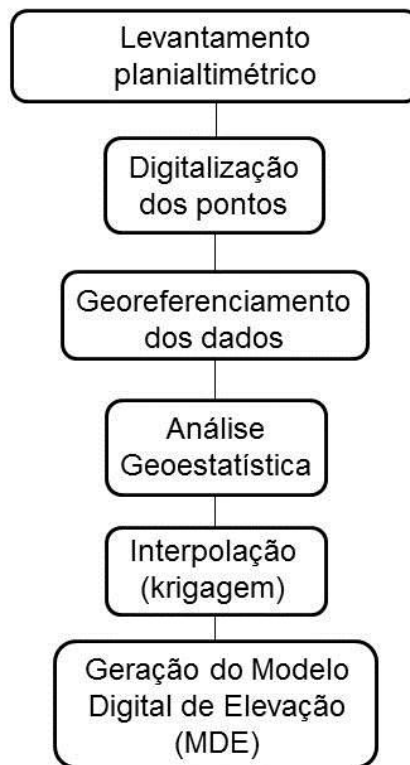


Figura 4 - Fluxograma de procedimentos do geoprocessamento dos dados e a geração dos modelos digitais de elevação (MDE).

Utilizando-se a imagem do Google Earth foi criado um polígono sobre as áreas estudadas, e este importado para o programa SPRING 5.2, de forma a realizar o georeferenciamento dos pontos levantados. A partir dos dados ordenados nas coordenadas geográficas com os respectivos pontos de levantamento, procedeu-se a análise geoestatística dos mesmos, utilizando-se o Software GS+, versão 9.0 (GAMMA DESIGN SOFTWARE, 2008), o qual calcula os semivariogramas experimental e teórico (modelo matemático) e seus respectivos parâmetros de ajuste que são o efeito pepita, patamar, alcance, coeficiente de determinação, e a soma dos quadrados dos resíduos. A qualidade do ajuste do modelo foi avaliada pelo procedimento de validação cruzada (VIEIRA, 2000). O grau de dependência espacial (GDE) descrito na equação 1 foi determinado a partir da classificação proposta por

Cambardella et al. (1994), que considera o grau de dependência espacial forte quando $GDE \leq 25\%$; moderado quando $25 < GDE \leq 75\%$; e fraco quando $GDE > 75\%$.

$$GDE \% = \frac{Co}{Co+C} * 100 \quad (1)$$

Onde:

Co - Efeito pepita

Co+C - Patamar

A modelagem das subáreas A, B e E foi realizada em conjunto por estas estarem em áreas contíguas no campo, divididas apenas por taipas (Fig. 1), ou seja, um mesmo modelo contemplou as três áreas que foram recortadas posteriormente para as avaliações. No caso das áreas C e D, estas foram modeladas separadamente.

4.3 Rebatimentos das áreas

Na segunda etapa do geoprocessamento dos dados, com a finalidade de se determinar o comportamento das variáveis em função da declividade da sistematização, a partir dos cinco modelos digitais de elevação das áreas reais, foram geradas, pelo procedimento de rebatimento, vinte áreas com diferentes declividades (0,00%, 0,10%, 0,30% e 0,50%) (tab. 2).

Tabela 2 - Valores das declividades e seus respectivos rebatimentos.

Área original	Rebatimentos
A	- 0,10%; 0,30%; 0,50%
B	0,00%; 0,10%; 0,30%; 0,50%
C	0,00%; 0,10%; 0,30%; 0,50%
D	0,00%; 0,10%; 0,30%; 0,50%
E	0,00%; 0,10%; 0,30%; 0,50%

O procedimento de rebatimento consistiu em calcular as declividades no sentido norte-sul, e leste-oeste por meio de análise de regressão linear simples, sendo a declividade da área, a resultante dessas duas declividades. No programa SPRING 5.2 foi criada uma superfície plana perfeita (MDE sem irregularidades), com

declividade exatamente oposta à declividade da área original. A somatória das duas superfícies gera uma nova superfície com declividade nula, ou seja, horizontal (0,00% de declividade), conservando as irregularidades da área original.

As superfícies MDE perfeitas foram geradas através de interpolação linear com as declividades já indicadas na tab. 2, e estas então foram somadas aos MDE zerados, com o objetivo de gerar uma nova superfície, com uma nova inclinação. Na Fig. 5 é possível observar o rebatimento dos MDE para as declividades estudadas (tab. 2). Já na Fig. 6, para exemplificar, é apresentado o MDE de uma superfície perfeita, gerado por interpolação linear, com declividade de 0,50%.

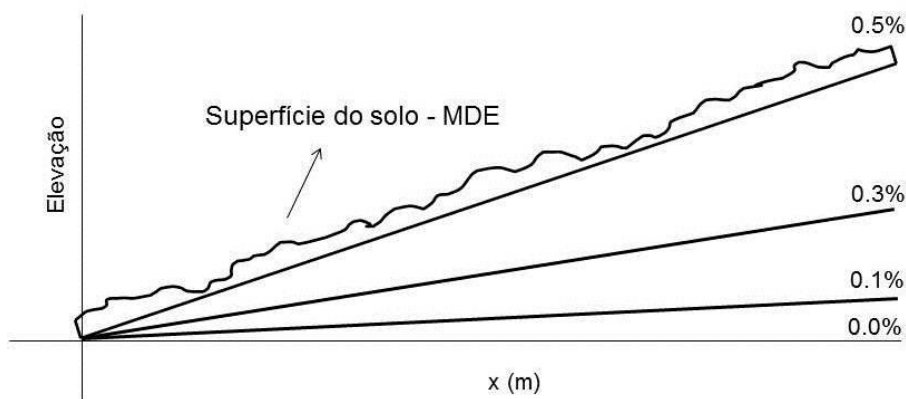


Figura 5 - Rebatimento dos Modelos Digitais de Elevação para as declividades propostas.

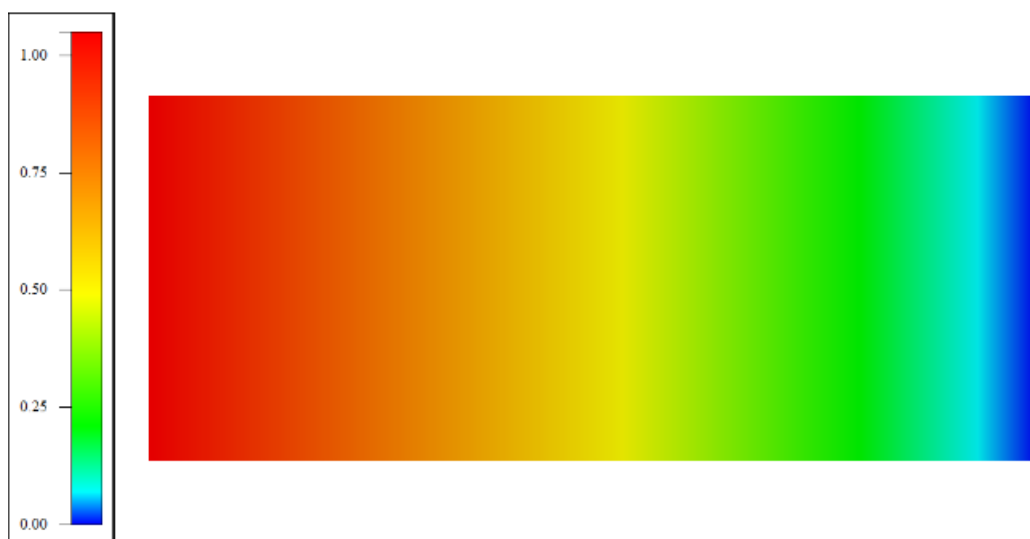
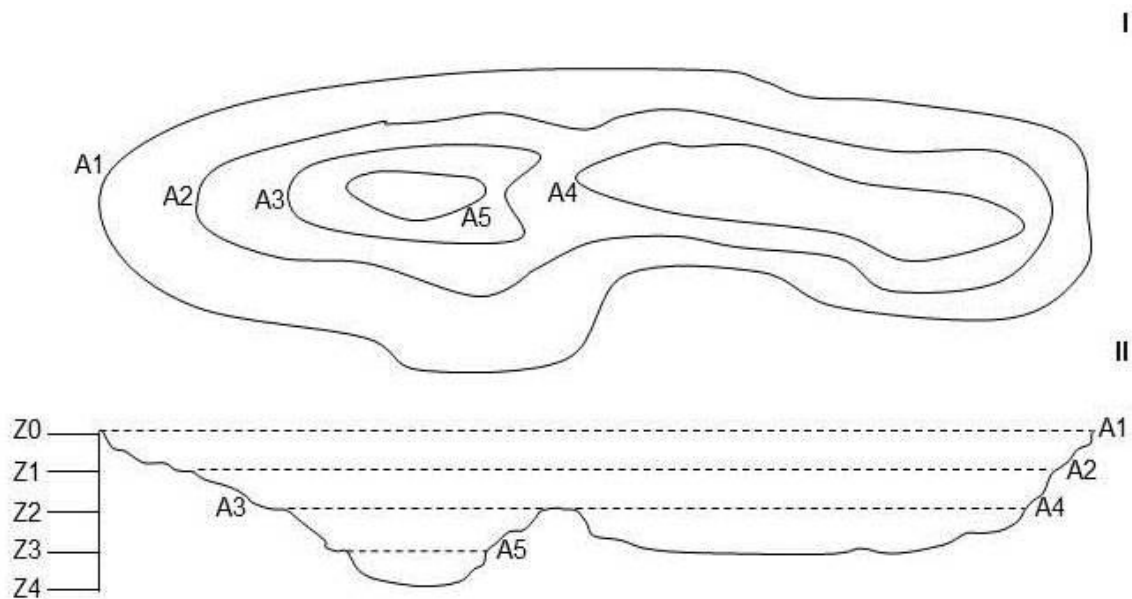


Figura 6 - Modelo Digital de Elevação gerado por interpolação linear (superfície perfeita), com declividade de 0,50%.

4.4 Avaliação do armazenamento superficial

Após a geração dos modelos digitais de elevação das áreas nas diferentes declividades, foi realizada a terceira etapa do geoprocessamento dos dados, gerando linhas de contorno (isolinhas), que são linhas geradas através de pontos com mesma cota. A variação de nível entre uma linha de contorno e outra foi de 0,1 cm. Desta forma os locais onde formaram polígonos de cotas mais baixas, rodeadas de polígonos de cotas mais altas, foram consideradas áreas de armazenamento superficial (depressões abaixo da superfície plana). Através deste método, obteve-se então um conjunto de polígonos para cada área. Com o somatório destas áreas foi então obtida a área total de armazenamento superficial, em função do tamanho da área de estudo, em percentagem.

Para o cálculo do volume armazenado (Fig. 7), foi utilizado o somatório das áreas dos polígonos e das ilhas inclusas, multiplicadas pela profundidade referente a cada área (Equação 2).



I: Vista superior; II: Corte; A: Área; Z: Profundidade.

Figura 7 - Polígonos de armazenamento gerados por isolinhas.

$$V = \sum_{i=1}^n ((A1 + A2 + A3 + An) * Zi) \quad (2)$$

Onde:

V - volume de água armazenado (m³);

A - área do polígono de armazenamento (m²);

Z - profundidade até o início do próximo polígono (m);

n - número de áreas de armazenamento.

Como as isolinhas que geraram os polígonos de armazenamento, foram geradas com uma diferença de cota de 0,1 cm, a equação 2 foi substituída pela equação 3.

$$V = \sum_{i=1}^n ((A1 + A2 + A3 + An) * 0,001) \quad (3)$$

As variações da superfície do terreno entre um polígono e outro foram desconsideradas. Cada área de armazenamento foi considerada como um cubo, de área e profundidade definidas. No entanto, sabe-se que existe uma superestimação do valor de volume encontrado, mas este foi desprezado, justificado pela relação entre a área do polígono e a profundidade serem muito grandes.

Todos os procedimentos necessários à execução desta etapa foram realizados utilizando-se o programa SPRING 5.2.

4.5 Tempo de secamento

A partir da obtenção dos dados dos polígonos de armazenamentos foi simulado o tempo, em dias, de esgotamento das áreas. Para tal foram realizadas simulações da ocorrência de uma evaporação diária de 2,0 mm (Normal climatológica para Pelotas referente à evaporação do tanque “Classe A”), que é a evaporação média para os meses de julho e agosto, meses que antecedem o período de semeadura do arroz irrigado. Em função dos tipos de solos que constituem as áreas foi considerada desprezível a percolação profunda. Assim, foi diminuída a altura da lâmina de água na taxa de 2 mm dia⁻¹ para as áreas de

armazenamento. Os valores da evapotranspiração do tanque “Classe A” estão apresentadas no Anexo 1.

4.6 Análise Estatística

O efeito da declividade do terreno sobre a área e o volume de água armazenado na superfície do solo foi avaliado pelo teste F. A equação 4 descreve o modelo experimental adotado.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_{ji} + \varepsilon_i \quad (4)$$

Onde:

Y_{ij} - I-ésima observação associada ao j-ésimo nível de declividade;

μ - Efeito constante (Média);

τ_j - Efeito associado ao j-ésimo nível do fator experimental na i-ésima observação;

ε_{ij} - Erro experimental associado a i-ésima observação.

A comparação entre as médias das áreas de armazenamento de água na superfície do solo e do volume de água armazenado foi realizado pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados com o auxílio do software estatístico SAS (Statistical Analysis System, 2002).

5. Resultados e discussão

5.1 Armazenamentos superficiais das superfícies reais

Os resultados da análise descritiva dos dados, dos semivariogramas e da validação cruzada para a aplicação da interpolação por krigagem para a geração dos modelos digitais de elevação encontram-se nos Apêndices 1, 2 e 3 respectivamente.

As áreas sistematizadas sem declividade (0,00%), embora sejam manejadas com alta tecnologia e com pessoal qualificado, com o passar dos dias, apresentam um acomodamento natural do solo, principalmente nas partes que recebem aterro (LIU e SINGH, 2004). Por consequência apresentam pequenas depressões na superfície, devido à movimentação do solo no processo de sistematização, formando zonas de armazenamento temporário de água, o que por sua vez afetam no desenvolvimento das plantas, pela falta de oxigenação do solo.

Nas Fig. 8, 9, 10, 11 e 12, são apresentados os MDE das áreas reais A, B, C, D e E respectivamente, de onde foram extraídas as informações dos armazenamentos de água na superfície do solo (área e volume).

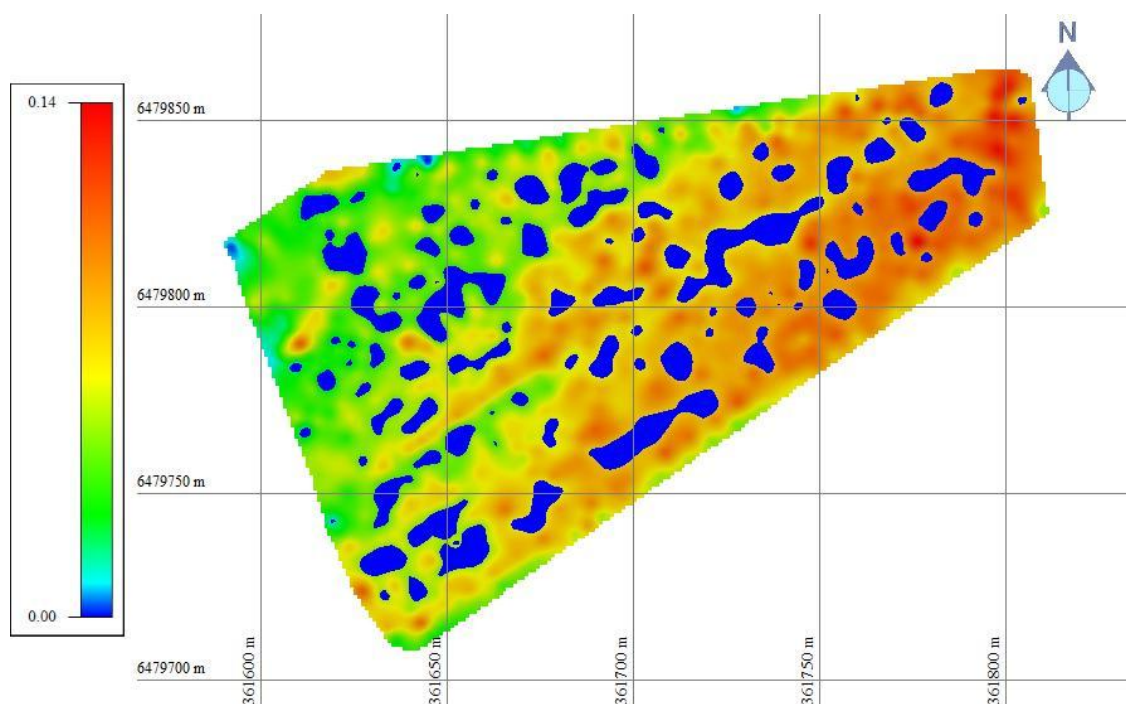


Figura 8 - Modelo Digital de Elevação da área A (declividade 0,00%), e as respectivas áreas de armazenamento de água na superfície do solo.

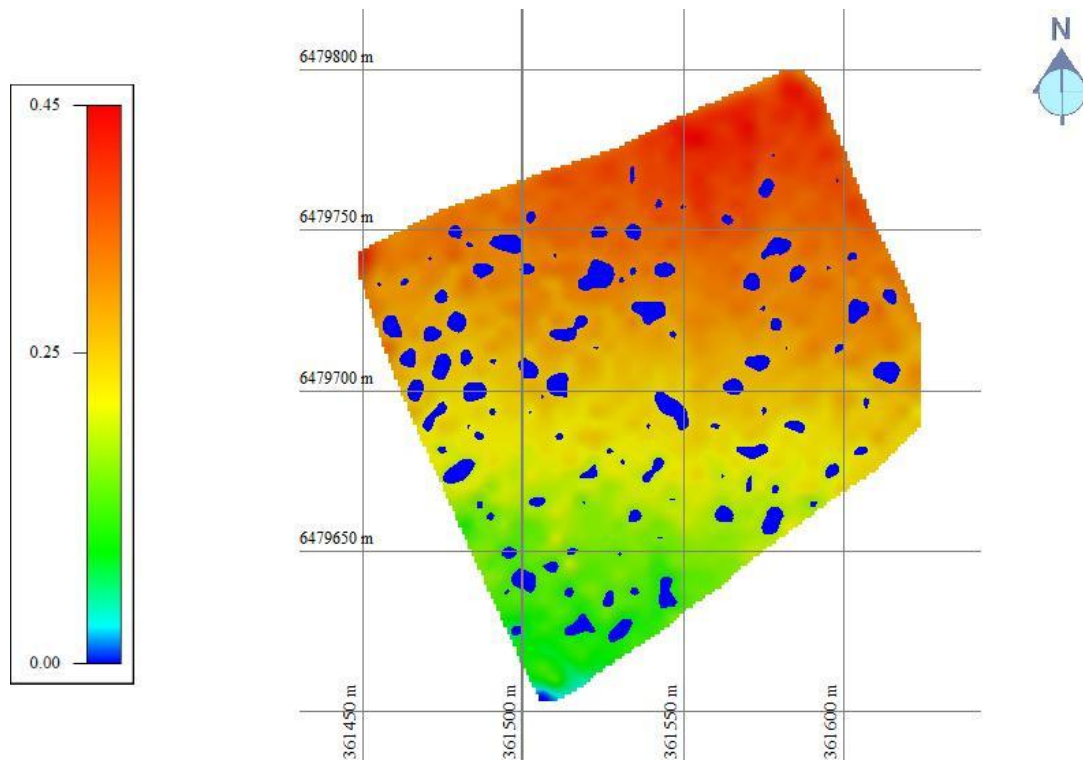


Figura 9 - Modelo Digital de Elevação da área B (declividade 0,20%), e as respectivas áreas de armazenamento de água na superfície do solo.

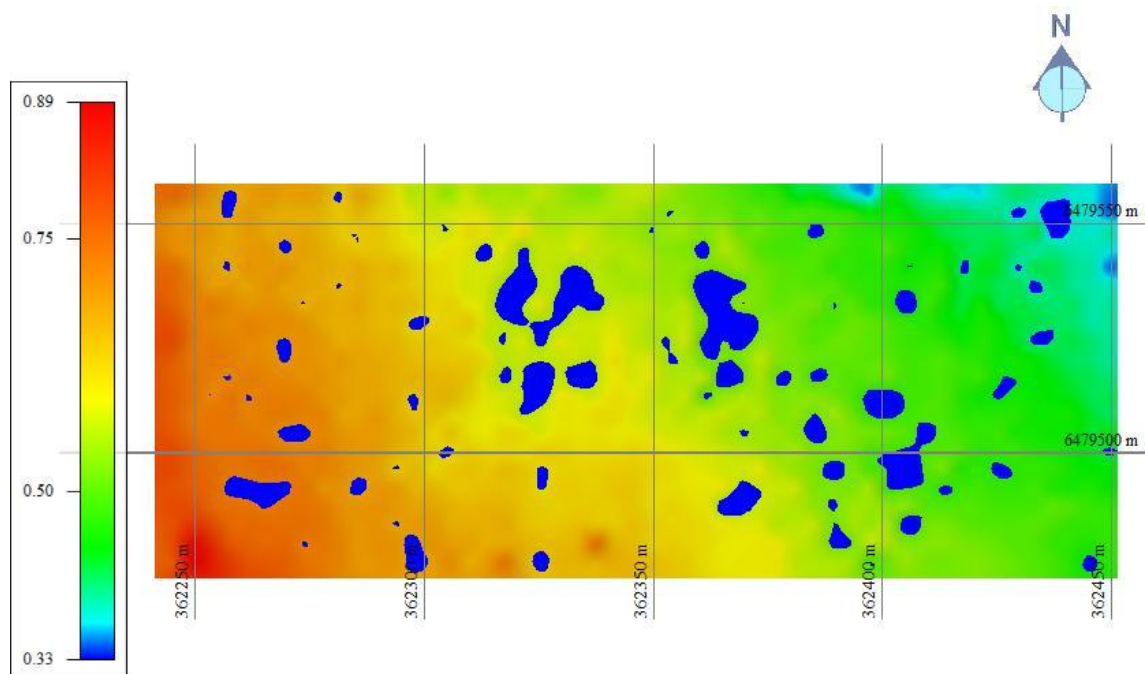


Figura 10 - Modelo Digital de Elevação da área C (declividade 0,25%), e as respectivas áreas de armazenamento de água na superfície do solo.

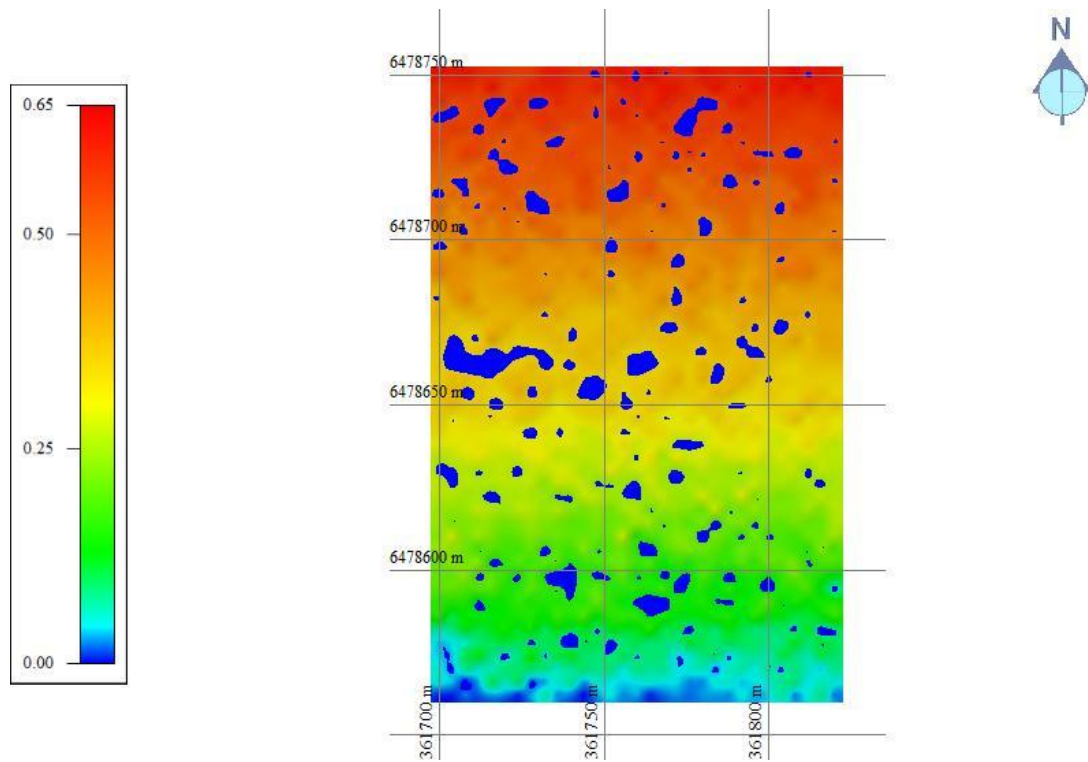


Figura 11 - Modelo Digital de Elevação da área D (declividade 0,28%), e as respectivas áreas de armazenamento de água na superfície do solo.

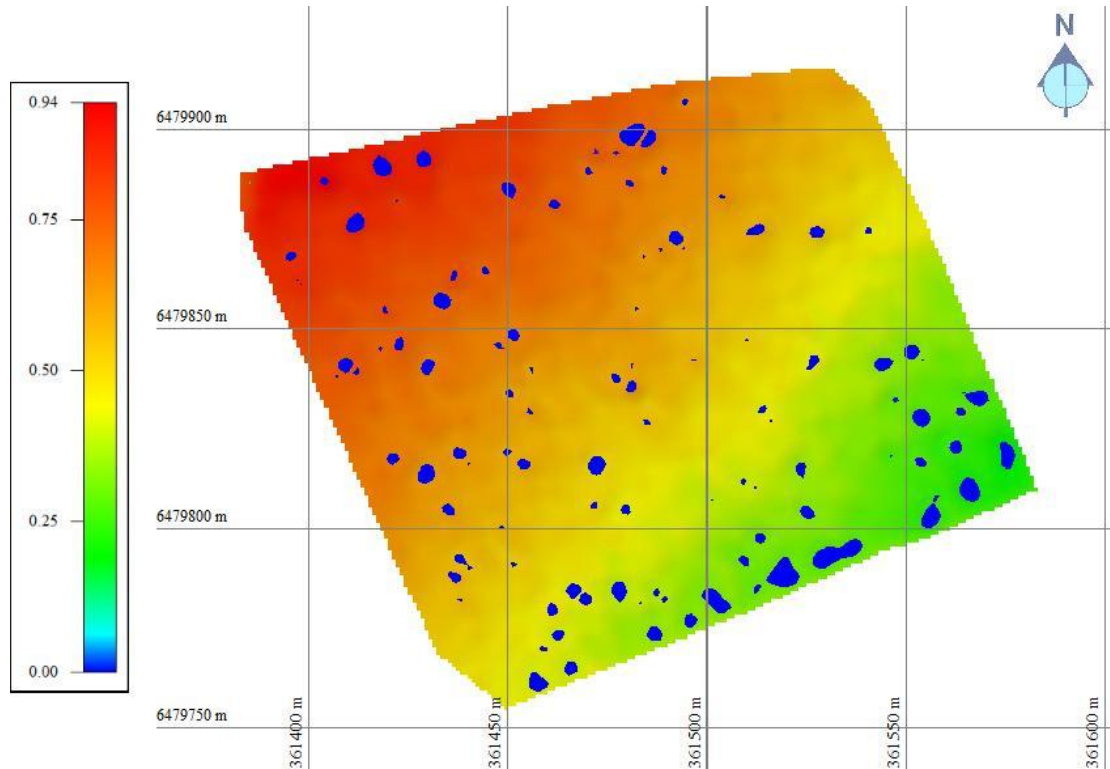


Figura 12 - Modelo Digital de Elevação da área E (declividade 0,40%), e as respectivas áreas de armazenamento de água na superfície do solo.

Após a geração dos modelos digitais de elevação das áreas reais foram calculados os valores de área de armazenamento superficial (%) e volume armazenado ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) das mesmas (tab. 3).

Tabela 3 - Relação da área alagada em função da área total e volume de água armazenado na superfície do solo.

Talhão	Área Total (m^2)	Área de armazenamento superficial (m^2)	Relação área de armazenamento superficial/área total (%)	Volume armazenado ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)
A	18.920	4093,4	21,64	30,8
B	21.200	1969,5	9,29	10,9
C	17.980	1584,3	8,81	7,2
D	23.820	1921,6	8,07	6,3
E	20.800	716,0	3,44	3,1

Observa-se que a área A apresentou o maior valor da relação área de armazenamento superficial/área total (21,64%), seguida das áreas B, C, D e E, cujos valores foram 9,29%, 8,81%, 8,07% e 3,44%, respectivamente. Verifica-se que há uma tendência de diminuição dos valores da relação área de armazenamento superficial/área total quando aumenta a declividade do terreno (tab. 1). Quando são comparados os valores extremos referentes à área A, com declividade de 0,00%, em relação a área E, com declividade de 0,40%, há uma diferença no armazenamento de 85,0%.

Em contrapartida, os resultados de armazenamento das áreas B, C e D, apresentam valores intermediários em relação à área A e à área E, em função das declividades de 0,20%, 0,25% e 0,28%, respectivamente. Os resultados obtidos demonstram que o armazenamento superficial das cinco áreas analisadas apresentam uma relação inversa, ou seja, quanto maior a declividade, menor é a área com armazenamento.

Com relação aos resultados do volume armazenado, assim como a área de armazenamento superficial, a área A apresentou maior volume de água armazenado na superfície do solo, $30,8 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$. Como esta área apresenta um sistema sem gradiente de declividade, a água tem maior dificuldade de se movimentar pela superfície, ficando armazenada nas depressões do solo. Nas áreas que apresentam declividade verificou-se a diminuição da área de armazenamento e, conseqüentemente, o volume armazenado na superfície do solo. De acordo com

Rajput e Patel (2005), estes resultados são indicadores do efeito da drenagem superficial, mostrando que áreas sistematizadas com declividade, podem apresentar uma melhor condição de drenagem superficial, proporcionando uma melhor condição de trafegabilidade de máquinas e mecanização do solo, além do melhor desenvolvimento de culturas diversificadas como as de sequeiro.

Embora se tenha encontrado uma tendência de diminuição do armazenamento superficial em função do aumento da declividade do terreno, é necessário analisar outras áreas com a mesma declividade, de forma a validar esta tendência. Para tanto, justifica-se a avaliação dos armazenamentos através dos rebatimentos das áreas nas diferentes declividades.

5.2 Armazenamentos superficiais das superfícies geradas pelos rebatimentos

Nas Fig. 13, 14, 15, 16 e 17 são apresentados os Modelos Digitais de Elevação para as áreas A, B, C, D e E, respectivamente, nas diferentes declividades de rebatimento, com as áreas de armazenamento de água na superfície do solo. Os MDE foram utilizados para extrair as informações dos pontos de armazenamento, tanto para a soma das áreas de armazenamento, quanto para o cálculo do volume armazenado.

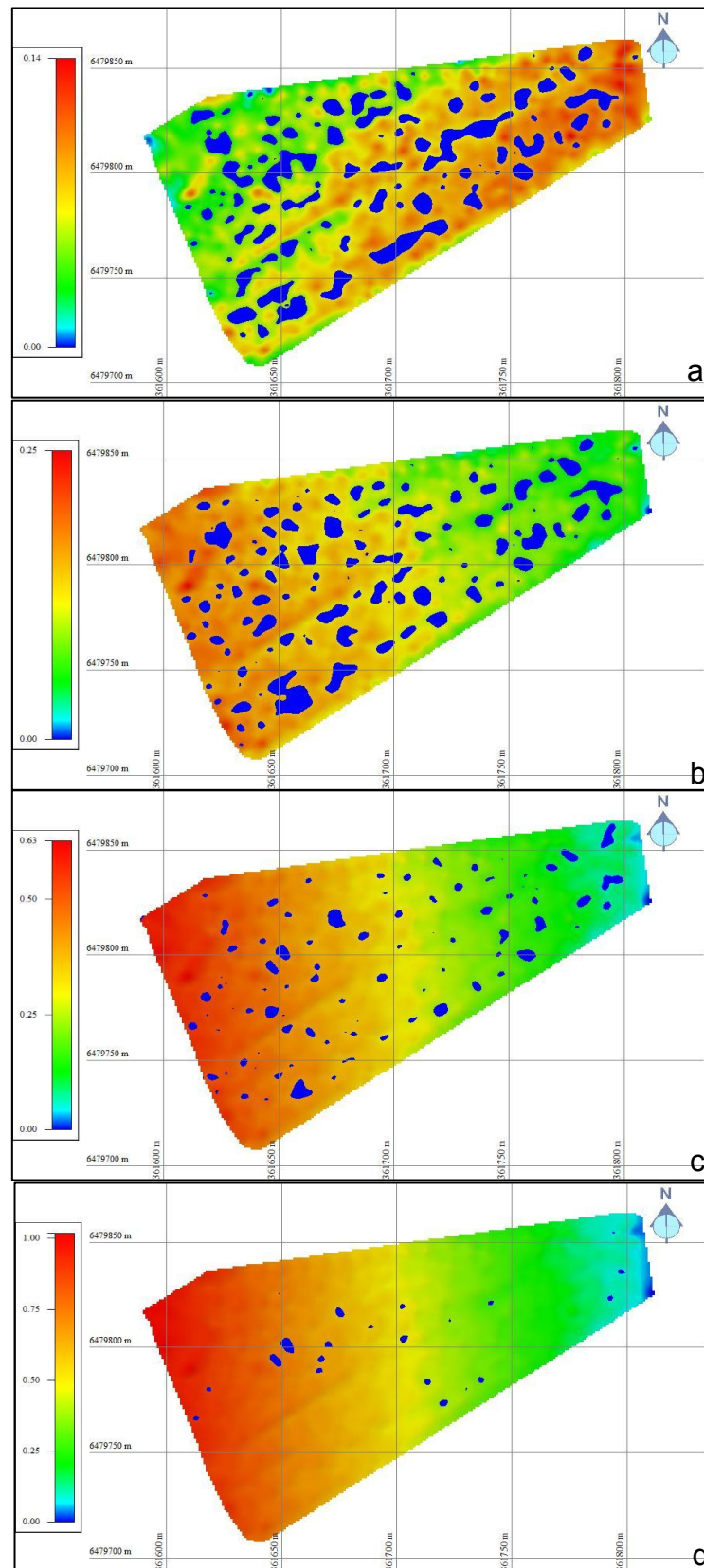


Figura 13 - Modelo Digital de Elevação da área A com declividade de 0,00% (a), 0,10% (b), 0,30% (c) e 0,50% (d), e as respectivas áreas de armazenamento de água na superfície do solo.

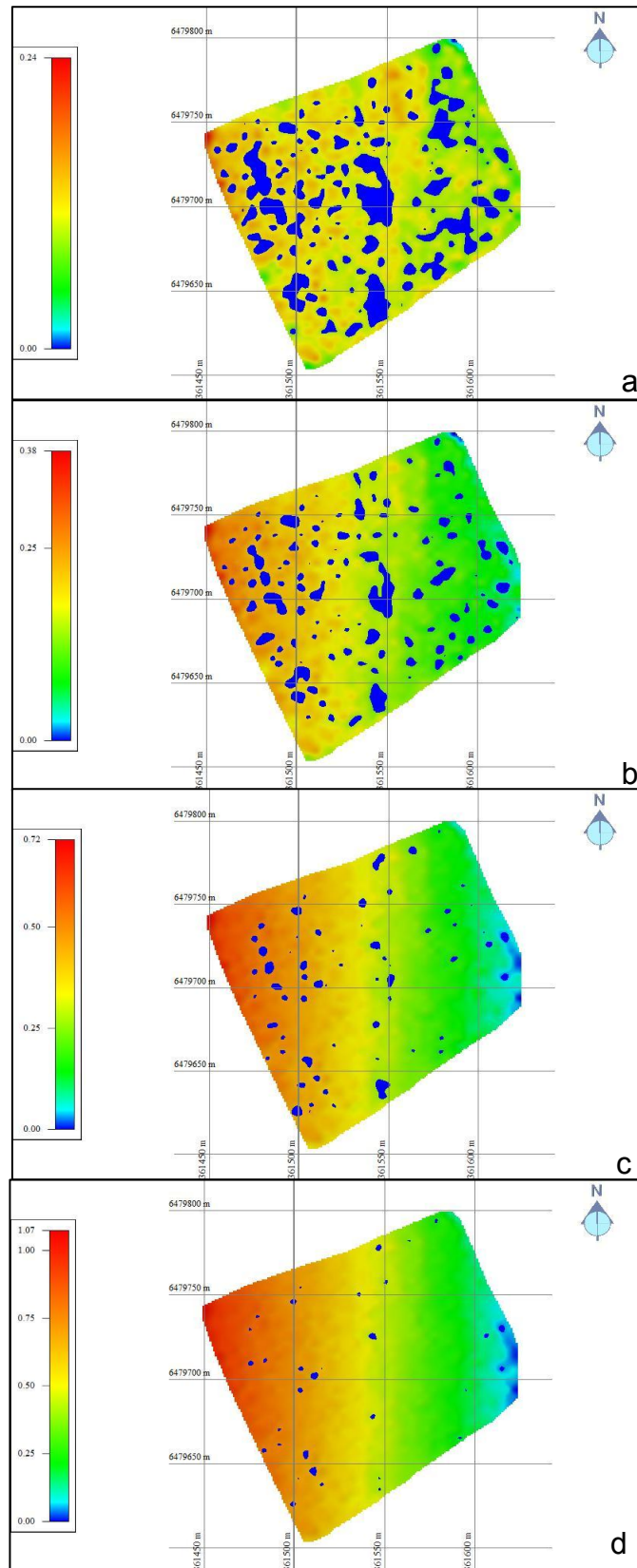


Figura 14 - Modelo Digital de Elevação da área B com declividade de 0,00% (a), 0,10% (b), 0,30% (c) e 0,50% (d), e as respectivas áreas de armazenamento de água na superfície do solo.

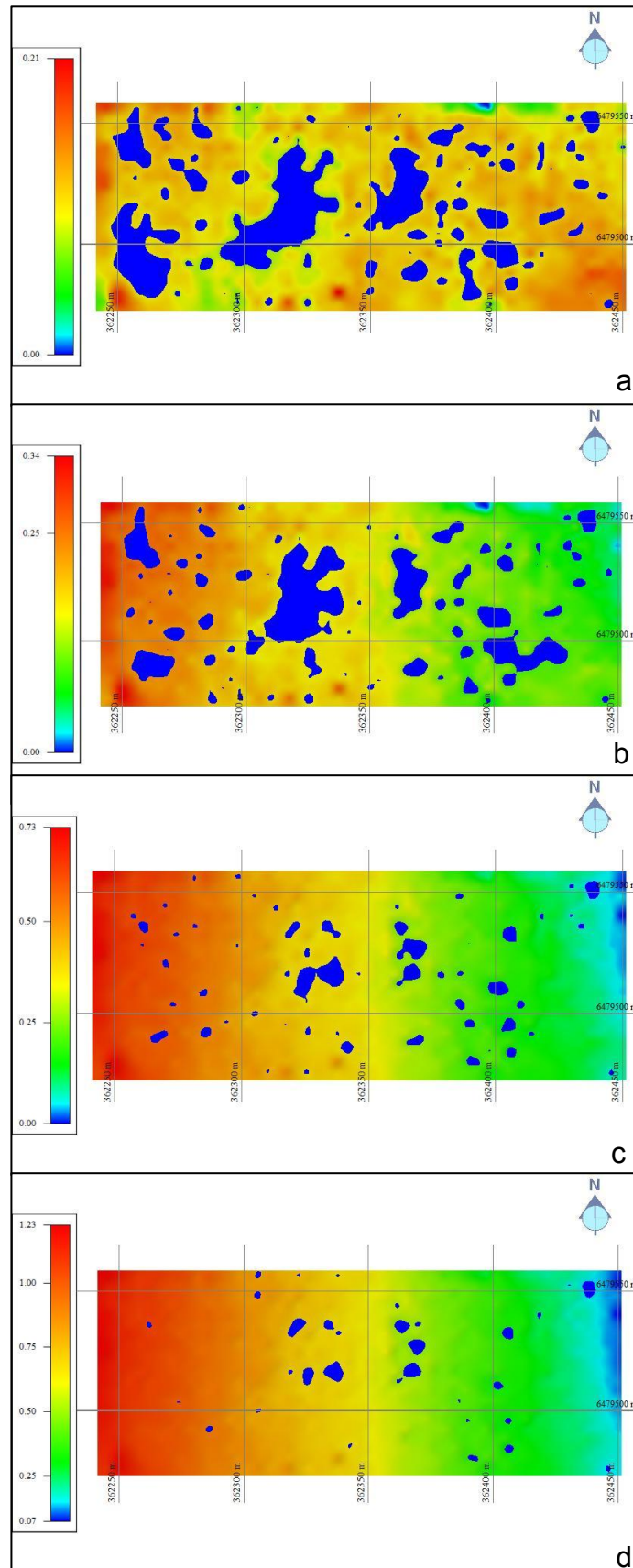


Figura 15 - Modelo Digital de Elevação da área C com declividade de 0,00% (a), 0,10% (b), 0,30% (c) e 0,50% (d), e as respectivas áreas de armazenamento de água na superfície do solo.

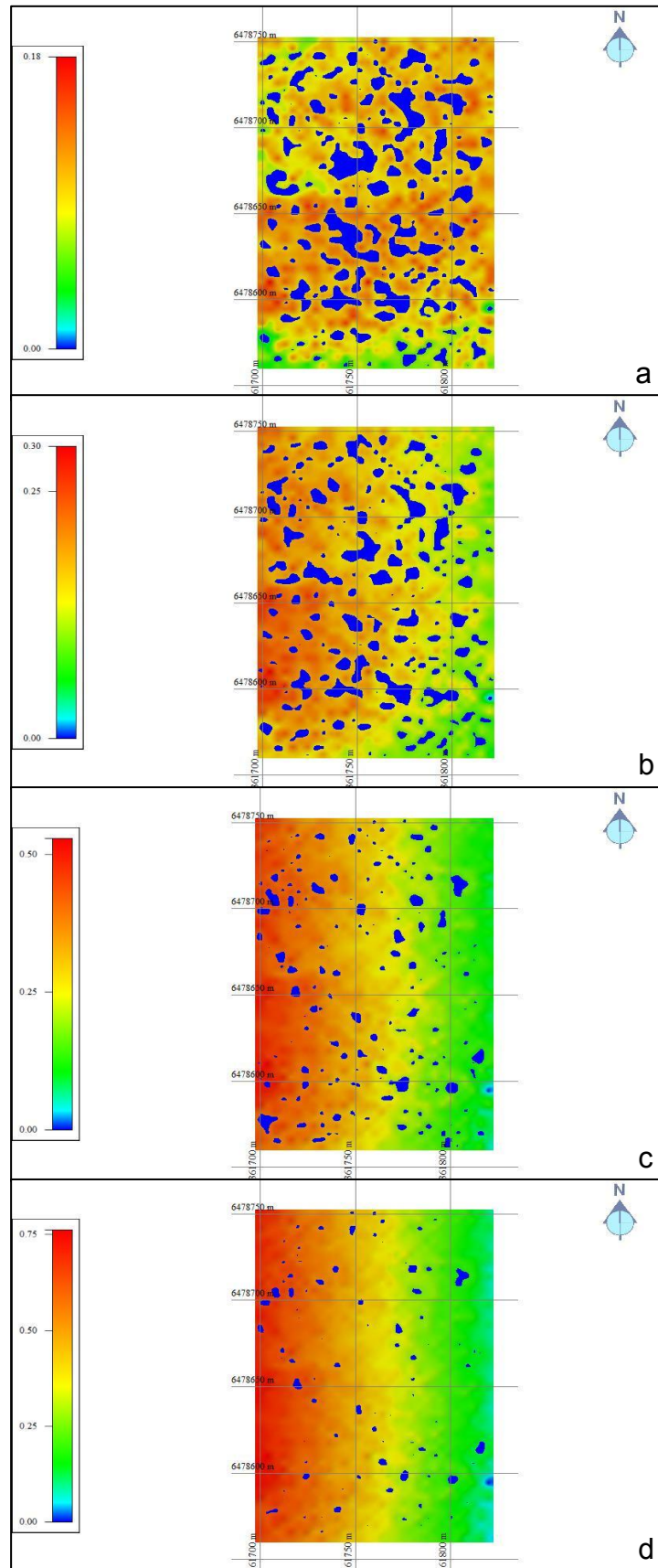


Figura 16 - Modelo Digital de Elevação da área D com declividade de 0,00% (a), 0,10% (b), 0,30% (c) e 0,50% (d), e as respectivas áreas de armazenamento de água na superfície do solo.

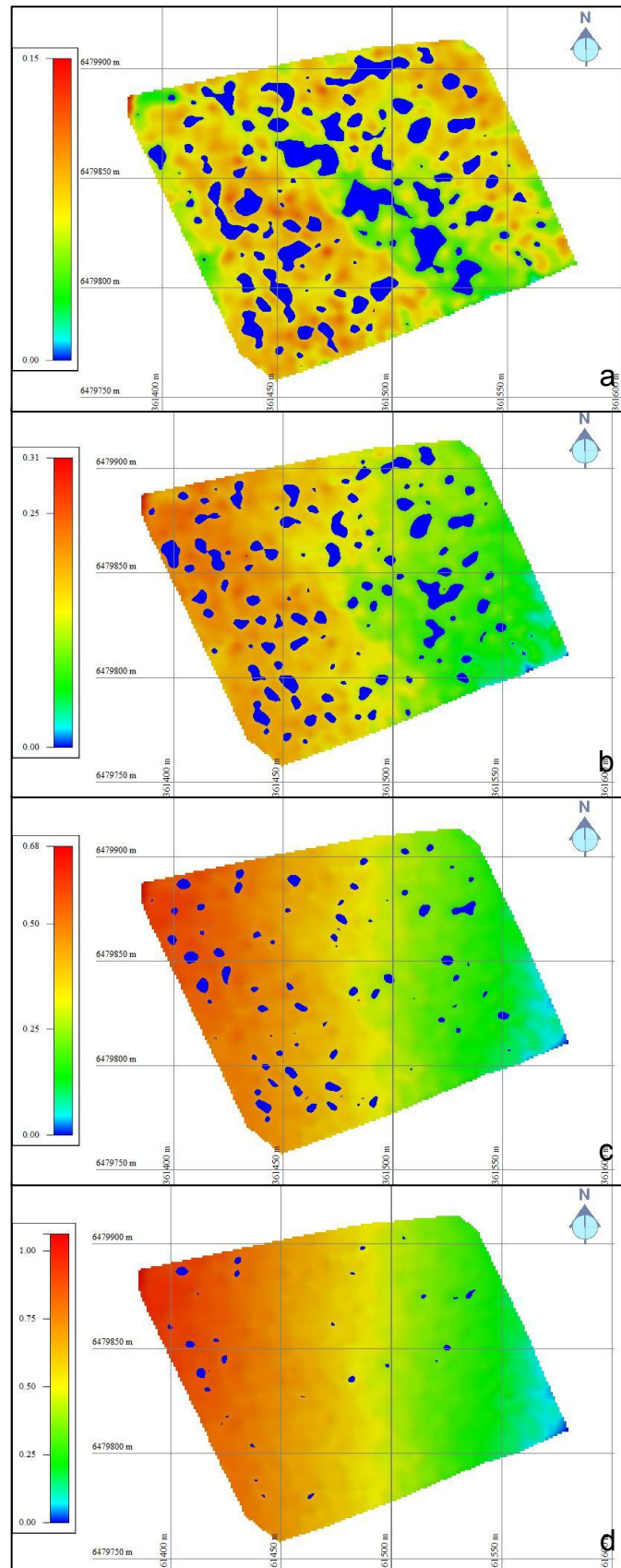


Figura 17 - Modelo Digital de Elevação da área E com declividade de 0,00% (a), 0,10% (b), 0,30% (c) e 0,50% (d), e as respectivas áreas de armazenamento de água na superfície do solo.

Os resultados mostraram efeito significativo do fator declividade em função da área de armazenamento de água na superfície do solo ($p < 0,005$). A comparação das médias dos níveis de declividade do terreno demonstraram diminuição da área de armazenamento de água na superfície do solo a medida em que é aumentada a declividade do terreno (tab. 4). As áreas quando submetidas a 0,00% de declividade, apresentaram um valor médio de 23,53% de área de armazenamento superficial, diferindo significativamente quando comparadas com o armazenamento das áreas com declividade de rebatimento de 0,10%, cujo valor foi 15,30%. Supondo que isso ocorra em um período que anteceda a semeadura do arroz irrigado, este alagamento provavelmente comprometeria uma semeadura em período adequado, fazendo com que a cultura perca potencial produtivo, acarretando em perdas econômicas.

A principal limitação para a implantação de sistemas de rotação e sucessão de culturas em áreas de várzea é o excesso hídrico e a falta de espécies e cultivares adaptadas a essas condições. As características de hidromorfismo desses solos fazem com que a condutividade hidráulica seja praticamente inexistente. Neste contexto, Thomas et al. (2005) destacam que as culturas como, soja e milho, submetidas a grandes períodos de alagamento, apresentam morte de plantas, alterações morfológicas e fisiológicas, problemas de nodulação, impedindo a fixação simbiótica, que variam conforme o genótipo utilizado. Neste sentido, se estas culturas estivessem implantadas em uma área sistematizada com 0,00% de declividade, apresentariam uma perda de produtividade por morte de plantas de 23,53% (relação de área de armazenamento superficial).

As áreas com declividades de 0,30% e 0,50% foram as que apresentaram menor área de armazenamento superficial, sendo que a de 0,50% de declividade apresentou apenas 1,67% de área com armazenamento superficial.

Tabela 4 - Valores médios de área de armazenamento superficial (%) em função das declividades de rebatimento.

Declividade (%)	Armazenamento de água na superfície do solo (%)
0,00	23,53 A ^{1/}
0,10	15,30 B
0,30	5,06 C
0,50	1,67 D

^{1/} Médias seguidas por letra maiúscula distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, comparando as a área de armazenamento em função das diferentes declividades.

Assim como a área de armazenamento superficial, o volume de água armazenado na superfície do solo apresentou diferenças significativas entre as variações das declividades de rebatimento do terreno. A declividade de 0,00% apresentou o maior valor de volume de água armazenado (37,52 m³ ha⁻¹), seguido pelas declividades 0,10%, 0,30%, e 0,50%, que apresentaram, respectivamente, 22,41; 5,46 e 1,62 m³ ha⁻¹ de água armazenada na superfície do solo (tab. 5).

Tabela 5 - Volume de água armazenado na superfície do solo (m³ ha⁻¹) em função das declividades de rebatimento.

Declividade (%)	Volume de água armazenado na superfície do SOLO (m ³ ha ⁻¹)
0,00	37,52 A ^{1/}
0,10	22,41 B
0,30	5,46 C
0,50	1,62 C

^{1/} Médias seguidas por letra maiúscula distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, comparando os volumes de água armazenados em função das diferentes declividades .

Segundo Jat et al. (2006), a sistematização com declividade em torno de 0,20% proporciona uma eficiente drenagem de áreas sistematizadas, gerando melhores condições de tráfego de máquinas no momento da colheita, bem como um tempo maior para as práticas que devem ser seguidas na safra seguinte.

Gaylee e Skaggs (1978) avaliando o armazenamento superficial em campos sistematizados com declividade de 0,20% e em campos sem sistematização verificaram que o volume máximo armazenado nos campos sistematizados foi de 4,0 mm e o mínimo 1,0 mm, enquanto nos campos sem sistematização, o máximo armazenamento foi de 33,0 mm e o mínimo verificado foi de 13,0 mm.

Os resultados verificados neste estudo estão de acordo com os encontrados por Alvarez-Mozos et al. (2011), em que avaliando o armazenamento superficial em áreas com diferentes tipos de manejo, entre eles, gradagem, subsolagem com e sem passagem de rolo, e impondo novas declividades para os modelos de elevação gerados para estes diferentes sistemas, verificaram que quando ocorre aumento da inclinação do terreno, ocorre diminuição do armazenamento superficial. O armazenamento observado diminuiu significativamente com as inclinações crescentes. Resultados com tendências semelhantes também foram observados por Huang e Bradford (1990), para diferentes tipos de superfícies.

5.3 Tempo de secamento

Na Fig. 18 é apresentado o comportamento da área de armazenamento de água na superfície do solo em função do tempo de secamento, para as cinco áreas analisadas. Comparando-se as diversas áreas de armazenamento, observa-se que quanto maior a área maior é o tempo necessário para haver o secamento superficial do solo. O tempo de secamento em função da declividade do terreno é um indicador de drenagem importante a ser estudado, pois possibilita uma análise do comportamento do armazenamento superficial do solo. Assim, observa-se que a área E com 0,40% de declividade (área de armazenamento de 3,44%) apresenta uma melhor condição de drenagem superficial, quando comparada com as demais áreas e principalmente com a área A, que apresenta uma área de armazenamento de 21,64%, com 0,00% de declividade (tab. 3). Comparando-se as duas áreas, verifica-se que a área A levaria aproximadamente 5 dias para atingir a área de armazenamento superficial da área E.

Além disso, é possível observar que as áreas A e E levariam aproximadamente 3 dias para atingir o comportamento de armazenamento das áreas B (9,29%), C (8,81%) e D (8,07%), para as declividades de 0,20, 0,25 e 0,28%, respectivamente. Segundo Jat et al. (2006), a inclinação de 0,20% proporciona uma eficiente drenagem de áreas sistematizadas, gerando melhores condições de tráfego de máquinas no momento da colheita, possibilitando um tempo maior para as práticas que devem ser seguidas na safra seguinte. Da mesma forma, esta condição de drenagem proporciona um manejo mais preciso, condicionando épocas mais adequadas para o manejo do solo.

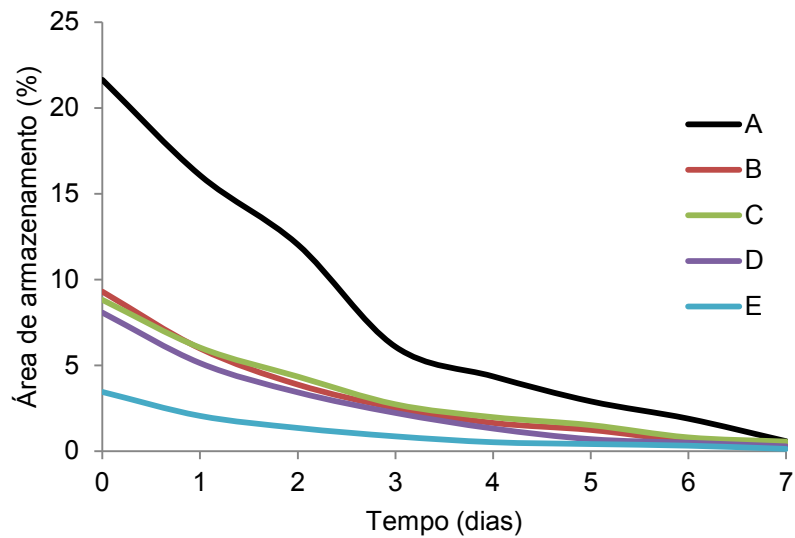


Figura 18 - Área de armazenamento de água na superfície do solo em função do tempo.

Louzada et al. (2008) simularam cenários utilizando o modelo SWAP a partir de diferentes condições de drenagem e confrontaram esses resultados com critérios que definem as condições de umidade adequadas para o preparo do solo. Os autores utilizaram um único plano com declividade de 0,15% em solos de várzea do RS e encontraram que o incremento no número de dias aptos para a mecanização pode ser atingido com boas condições de drenagem superficial, com valores de armazenamento de até 20 mm.

6. Conclusões

O armazenamento de água na superfície do solo, tanto em área, quanto em volume, apresentam uma relação inversamente proporcional com a declividade da sistematização, ou seja, quanto maior a declividade do terreno menor o armazenamento de água na superfície do solo.

As áreas que apresentam maior declividade de sistematização apresentam um tempo menor de secamento, devido ao menor armazenamento de água na superfície do solo.

7. Referências Bibliográficas

ABDULLAEV, I.; HASSAN, M.; JUMABOEV, K. Water saving and economic impacts of land leveling: the case study of cotton production in Tajikistan. *Irrig Drainage Syst*, **Springer Science**. Cap.21. p.251-263. 2007.

ABEDINI, M.J.; DICKINSON, W.T.; RUDRA, R.P. On depressional storages: the effect of dem spatial resolution. **Journal of Hydrology**. v. 318, p.138–150, 2006.

ALI, A.; CLYMA, W.; EARLY, A.C. The improved water and land use management through precision land leveling. In: **Journal of Water Management**. 1975.

ALVAREZ-MOZOS, J.; CAMPO, M.A.; GIMENEZ, J.C.; CASILI, J.; LEIBAR, C. Implications of scale , slope, tillage operation and direction in the estimation of surface depression storage. **Soil & Tillage Research**. v.111, p. 142-153, 2011.

AMER, A. M. Effects of water infiltration and storage in cultivated soil on surface irrigation. **Agricultural Water Management**. v.98, p. 815-822, 2011.

ANBUMOZHI, V.; YAMAJI, E.; TABUCHI, T. Rice crop growth and yield as influenced by changes in ponding water depth, water regime and fertigation level. **Agricultural Water Manager**, 1998. p. 241-253.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no till. **Soil & Tillage Research**. Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006.

BETTINI, C. Conceitos básicos de geoestatística. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C. M. (Ed.). **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília: Embrapa, 2007. cap. 4, p. 193-234.

CAMBARDELLA, C.A.; MOOMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEM, D.L.; TURVO, R.F. & KONOPA, A.E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. **Soil Science of America Journal**., 47:1501-1511, 1994.

CHOUDHARY, M.A.; GILL, M.A.; KAHLOWN, A.; HOBBS, P.R. Evaluation of resource conservation technologies in rice–wheat system of Pakistan. In: **Proceedings of the international workshop on developing an action program for farm level impact in rice–wheat system of indo-gangetic plains**. New Delhi, India, 2002. p. 148.

COREY, G.L.; CLYMA, W. Improving farm water management in Pakistan. **CSU Field Report nº.1 L-12**. Pakistan. 1973.

DARBOUX, F.; HUANG, C. An instantaneous-profile laser scanner to measure soil surface microtopography. **Soil Science Society of America Journal** v.67, p. 92–99, 2003.

DARBOUX, F.; DAVY, P.; GASCUEL-ODOUX, C. Effect of depression storage capacity on overland-flow generation for rough horizontal surfaces: water transfer distance and scaling. **Earth Surface Processes and Landforms**. v.27, p. 177–191. 2002.

EL-SHEIMY, N.; VALEO, C.; HABIB, A. **Digital terrain modeling: acquisition, manipulation, and Applications**. Boston: Artech House, 2005. 257 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 374p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Recomendações técnicas para o cultivo do arroz irrigado**. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão de Tecnologia de Santa Catarina, 1992. 79p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil**. Pelotas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Instituto Riograndense do Arroz/Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão de Tecnologia de Santa Catarina, 1999. 124p.

ERDOGAN, S. A comparison of interpolation methods for producing digital elevation models at the field scale. **Earth Surface Process and Landforms**, v.34, p.366-376, 2009.

FAGEIRA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Influence of pH on growth and nutrient uptake by crop species in an Oxisol. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 29, n. 17-18, p. 2675-2682, 1998.

FOX, D.M.; LE BISSONNAIS, Y.; BRUAND, A. The effect of ponding depth on infiltration in a crusted surface depression. **Catena** v.32, p. 87–100, 1998.

FREITAS, T.F.S.; MARIOT, C.H.P.; MENEZES, V.G.; RAMIREZ, H.V.; LIMA, A.L. & SILVA, P.R.F. Rendimento de grãos de arroz irrigado em função de níveis de manejo nas épocas de semeadura preferencial e tardia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4.; **REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO**, 26., Santa Maria, 2005. Anais. Santa Maria, Orium, 2005. v.1. p.344-346.

GAYLE, G.A.; SKAGGS, R.W. Surface storage on Bedded Cultivated Lands. **Transition of de ASAE** p. 101 – 109, 1978.

GASTAL, M.F. da C., A.A.A. RAUPP, SILVA, C.A.S. PARFITT, J.M.B., PORTO, M.P.,BRANÇÃO, N.. Rotação e sucessão de culturas em áreas de várzea, p.799-

829. In A.da. S. Gomes & A.M.de Magalhães Júnior (eds.), **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 899p. 2004

GOMES, A. da S.; PETRINI, J. A.; VERNETTI JUNIOR, F.de J. Sistemas de cultivo de arroz em várzeas na região Sul do Brasil. In: COSTA, J.L. das F.; GUIMARÃES, E.P. Perspectivas para a cultura do arroz nos ecossistemas de várzeas e terras altas. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999.v.2 (**Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 96**). p.213-237.

GOMES, A. da S.; CUNHA, N.G. da; PAULETTO, E.A.; SILVEIRA, R.J.C. da; TURATTI, A.L. Solos de várzeas - uso e manejo: problemas físicos e perspectivas de ação. In: FEDERAÇÃO DOS CLUBES DE INTEGRAÇÃO E TROCA DE EXPERIÊNCIAS. **Solos e irrigação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade - UFRGS, 1992. p. 64-79.

GOMES, A. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 75-95.

GONÇALVES, M. de L. de A. M.; CARVALHO, C. A. P. Geração de modelo digital de terreno a partir de mapas digitais 3D: Estudo de caso visando garantir o contexto geomorfológico com redução dos dados amostrais, Boletim de Ciências Geodésicas, v.9, p.105-119, 2003.

GUZZETTI, F.; REICHENBACH, P.; CARDINALI, M.; GALLI, M.; ARDIZZONE, F. Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geomorphology. Journal of Hydrology*, v.72, p.272-299, 2005

HANSEN, B.; SCHJONNING, P.; SIBBESEN, E. Roughness indices for estimation of depression storage capacity of tilled soil surfaces. **Soil & Tillage Research** v. 52, p. 103–111, 1999.

HÉBRARD, O.; VOLTZ, M.; ANDRIEUX, P.; MOUSSA, R. Spatio-temporal distribution of soil surface moisture in a heterogeneously farmed Mediterranean catchment. **Journal of Hydrology**, v.329, p.110-121, 2006.

HELMING, K; ROMKERS, M.J.M., PRASAD, S.N., Surface roughness related processes of run off and soil loss: a flume study. **Soil Science Society of America Journal**. v.62, p. 243-250, 1997.

HENGL, T.; REUTER, H. I. (Eds.), *Geomorphometry: Concepts, software, applications*. **Developments in Soil Science**, v.33. Amsterdam: Elsevier, 2009, 765p.

HENGL, T.; BAJAT, B.; BLAGOJEVIC, D.; REUTER, H. I. **Geostatistical modeling of topography using auxiliary maps**. **Computers & Geosciences**, v.34, p.1886-1899, 2008. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cartas planialtimétricas do IBGE, 1972.

HUANG, C.; BRADFORD, J.M. Depressional storage for Markov–Gaussian surfaces. **Water Resources Research** v.26, p.2235–2242, 1990.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ. **Dados de safra 2010 – Acompanhamento semanal da colheita.** Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/index.php?action=dados_safra>. Acesso em: 12 dez. 2012.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ - IRGA. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil.** 3.ed. Cachoeirinha, Instituto Riograndense do Arroz, 1996. 88p.

ISAAKS E.H.; SRIVASTAVA R.M. **An introduction to applied geostatistics.** New York: Oxford University Press; 1989. p. 561.

JAT, M.L.; CHANDANA, P.; SHARMA, S.K.; GILL, M.A.; GUPTA, R.K. Laser Land Leveling: A Precursor Technology for Resource Conservation. Rice–Wheat Consortium Technical Bulletin Series 7. **Rice–Wheat Consortium for the Indo-Gangetic Plains**, New Delhi, India, 2006. pp. 48.

JAT, M.L.; CHANDNA, P. **Precision Land Leveling – Laser Land Leveling System, Rice Wheat Information Sheet** (RWIS 48, June edition), Rice Wheat Consortium, New Delhi, 2004.

JAT, M.L.; PAL, S.S.; SUBBA RAO, A.V.M.; SHARMA, S.K. Improving resource use efficiency in wheat through laser land leveling in an ustochrept of Indo-Gangetic plain. In: **National Seminar on Developments in Soil Science**, 68th Annual Convention of the Indian Society of Soil Science, CSAUAT, Kanpur (UP). 2003.

KAHLLOWN, M.A.; Gill, M.A.; ASHRAF, M. Evaluation of resource conservation technologies in rice–wheat system of Pakistan. PCRWR, Islamabad, **Pakistan, Pakistan Council of Research in Water Resources** (PCRWR), Research Report-1 2000.

KAMPHORST, E.C.; DUVAL, Y. Validation of a numerical method to quantify depression storage by direct measurements on moulded surfaces. **Catena** v.43, p.1–14, 2001.

KAMPHORST, E.C.; JETTEN, V.; GUE´RIF, J.; PITKA¨NEN, J.; IVERSEN, B.I.; DOUGLAS, J.T.; PAZ, A. Predicting depression storage from soil surface roughness. **Soil Science Society of America Journal** v.64, p.1749– 1758, 2000.

KARKEE, M.; STEWARD, B. L.; AZIZ, S. A. Improving quality of public domain digital elevation models through data fusion. **Biosystems Engineering**, v.101, p.293-305, 2008.

KHATTAK, J.K.; LARSEN, K.E.; RASHID, A.; KHATTAK, R.A.; KHAN, S.U. Effect of land leveling and irrigation on wheat yield. **Journal of AMA**. 12: 11-14. 1981.

KHEIR, R. B.; WILSON, J. P.; DENG, Y. X. Use of terrain variables for mapping gully erosion susceptibility in Lebanon. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.32, p.1770-1782, 2007.

KLAMT, E.; KÄMPF, N.; SCHNEIDER, P. **Solos de várzea no estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS: Univ. Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos, 1984. 43 p. Boletim Técnico nº 4.

KOUTROUBAS, S. D.; NTANOS, D. A. Genotype differences for grain yield and nitrogen utilization in indica and japonica rice under Mediterranean conditions. **Field Crops Research**. Amsterdam, v. 83, p. 251–260, 2003.

LANDIM, P. M. B. **Introdução à análise variográfica com o variowin: lab. geomatemática**. Rio Claro: DGA, IGCE, UNESP, 2004. 25 p. Texto didático. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/DIDATICOS/LANDIM/Variowin.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2013.

LINDEN, D.R. **A model to predict soil water storage as affected by tillage practices**. Unpublished Ph.D. Thesis. University of Minnesota, 1979, 320 pp.

LIU, Q.; SINGH, V.P. Effect of microtopography, slope length and gradient, and vegetative cover on overland flow through simulation. **Journal of Hydrologic Engineering** v.9, p. 375–382, 2004.

LOUZADA, J.A.; CAICEDO, N.; HELFER, F. Condições de drenagem relacionadas ao trânsito de máquinas em solo de várzea (RS-Brasil). **R. Bras. Eng. Agrícola e Ambiental**, 12:98-106, 2008.

MARCHEZAN, E.; VIZZOTTO, V.R.; ZIMMERMAN, F.L. Produção de forrageiras de inverno em diferentes espaçamentos entre drenos superficiais sob pastejo animal em várzea. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.28, n.3, p.393-397, 1998.

MARCHEZAN, E. Rotação de culturas em áreas de arroz. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 21, 1995, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: IRGA, 1995. p. 15-16.

MARIOT, C.H.P.; MENEZES, V.G.; LIMA, A.L.; RAMIREZ, H.V.; NEVES, G. Influência da época de semeadura no rendimento de grãos de cultivares de arroz irrigado - safras 2003/04 e 2004/05. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4.; **REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 26.**, Santa Maria, 2005. Anais. Santa Maria, Orium, 2005. v.1. p.251-253.

MARTIN, Y.; VALEO, C.; TAIT, M. Centimetre-scale digital representations of terrain and impacts on depression storage and runoff. **Catena** v.75, p.223–233, 2008.

MENEZES, V.G.; MACEDO, V.R.M.; ANGHINONI, I. **Projeto 10: estratégias para o aumento de produtividade, competitividade e sustentabilidade da lavoura de arroz irrigado no RS**. IRGA. Divisão de Pesquisa: Cachoeirinha, 2004. 32p.

MENEZES, V. G.; MARIOT, C. P.; LOPES, M. C. B.; SILVA, P. R. F.; TEICHMANN, L.L. Semeadura direta de genótipos de arroz irrigado em sucessão a espécies de cobertura de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 36, n. 9, set. 2001.

MIELNICZUK, J. Manejo conservacionista da adubação potássica. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potássio e do Fosfato – POTAFOS, 2005. p. 165-178.

MITCHELL, J.K.; JONES Jr., B.A. Micro relief surface depression storage: analysis of models to describe the depth storage function. **Water Research**. v.12 (6),p. 1205–1222, 1976.

MYERS, J. C. **Geostatistical error management. Qualifyng uncertainty for enviromental sampling ans mapping**. New York, Van Nostrand Reinhold, 1997. 571p.

ONSTAD, C.A. Depression on tilled soil surfaces. In: **Proceedings of the Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, 1984 pp. 729–732.

PARFITT, J.M.B.; SILVA, C.A.S.; PETRINI, J.A. **Sistematização de solos de várzea**. In: GOMES, A.S. & PAULETTO, E.A., eds. Manejo de solo e da água em áreas de várzea. Pelotas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999. 201p.

PARFITT, J.M.B.; SILVA, C.A.S.; PETRINI, J.A. In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES Jr, A.M. (eds.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. 1º ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004. p. 23-44.

PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; PINTO, L.F.S. Física de solos de várzea cultivados com arroz irrigado. In: GOMES, A.S. & MAGALHÃES JR., A.M., eds. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.119-142.

PINTO, L.F.S.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S., et al. **Caracterização de solos de várzea**. In: GOMES, S.G., PAULETTO, E. A. Manejo do solo e da água em áreas de várzea. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. Cap.1. p.11-36.

PINTO, L. F. S.; LAUS NETO, J.A.; PAULETTO, E.A. Solos de Várzea do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. In: Gomes, A.S.; MAGALHÃES, A.M. **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa, 2004. p. 45-95.

PIRES, J. L. F.; Soprano, E.; Cassol. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 37, n. 1, p. 41-50, 2002.

PLANCHON, O.; DARBOUX, F. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. **Catena** v.46, p.159–176, 2001.

PORTO, M.P.; PARFITT, J.M.B.; GASTAL, M.F.C. **Culturas alternativas ao arroz irrigado nas várzeas do sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1998. 42p. (Documento nº 50).

RAJPUT, T.B.S.; Patel, N. Enhancement of field water use efficiency in the Indo-Gangetic plains of India. **Irrigation and Drainage** (ICID) 54, 189–203, 2005.

REUTER, H. I.; KERSEBAUM, K. C.; WENDROTH, O. Modeling of solar radiation influenced by topographic shading: evaluation and application for precision farming. **Physics and Chemistry of the Earth**, v.30, p.139-149, 2005.

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.

SAS Institute INC.SAS/STAT™ **SAS user's guide for windows environment.** 6.11 ed. Cary: SAS Institute, 2002.

SATTAR, A.; KHAN, F. H.; Tahir, A. R. Impact of Precision Land Leveling on Water Saving and Drainage Requirement, **Journal of AMA**, Vol. 34, pp. 39-41, 2003.

SEGINER, L. A model for surface drainage of cultivated fields. **J. Hydrology**. v. 13, p. 139–152, 1971.

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

SISKA, P. P.; GOOVAERTS, P.; HUNG, I. K.; BRYANT, V. M. Predicting ordinary kriging errors caused by surface roughness and dissectivity. **Earth Surfaces Process and Landforms**, v.30, p.601-612, 2005.

SLATON, N.A.; LINScombe, S.D.; NORMAN, R.J. & Gbur, E.E. Seeding date effect on rice grain yields in Arkansas and Louisiana. **Agronomy Journal**., 95:218-223, 2003.

SOUZA, Z. M.; MARTINS FILHO, M. V.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de fatores de erosão em Latossolo Vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.25, p.105-114, 2005.

STANSEL, J.W. Effective utilization of sunlight. In: STANSEL, J.W. & MILLER, J.E. Six decades of rice research in Texas. **College Station, Texas Agricultural Experiment Station**, 1975. p.43-50.

STEINMETZ, S.; ASSIS, F.N. de; BURIOL, G.A.; ESTEFANEL, V.; AMARAL, A.G.; FERREIRA, J.S.A. Regionalização do risco de ocorrência de temperaturas mínimas do ar prejudiciais à fecundação das flores de arroz no estado do Rio Grande do Sul. **Embrapa Clima Temperado**, Pelotas, v.4, n.1, p.79-91, junho, 2001.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHINEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS: UFRGS, 2002. 107 p.

TUCKER, G.E.; BRAS, R.L. Hillslope processes, drainage density, and landscape morphology. **Water Resources Research** v. 34, p. 2751–2764, 1998.

VERNETTI JUNIOR, F. J. de. Sustentabilidade de sistemas de rotação e sucessão de culturas em solos de várzea no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, vol.39, n.6, 2009.

VERNETTI Jr., F. de J.; GOMES, A. da S. Plantio Direto: uma opção de manejo para a produção agrícola sustentável. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2000. 69 p. (**Embrapa Clima Temperado. Documentos, 58**).

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, G.R., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54, 2000.

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 effected by precision landleveling in alluvial soils. **Agronomy Journal**. 95: 1483-1488. 2003.

WEISZ, R.S.; FLEICHER, S.; SMILOWITS, Z. Map generation in high value horticultural integrated pest management: Appropriate interpolation methods for site specific pest management of Colorado potato beetle. **Journal Economy Entomology**., v. 88, p. 1650-1657, 1995.

WU, S.; Li, J.; HUANG, G. Modeling the effects of elevation data resolution on the performance of topography-based watershed runoff simulation. **Environmental Modelling and Software**, v.22, 1250–1260, 2007.

ZHU, Y.; SHAO, M. Variability and pattern of surface moisture on a small-scale hillslope in Liudaogou catchment on the northern Loess Plateau of China. **Geoderma**, v.147, p.185-191, 2008.

8. Apêndices

Apêndice 1

Tabela 6 - Análise descritiva dos dados das áreas ABE, C e D:

Dados das Áreas: A, B, E.

Nº de dados		Mean	Dev. Pad	Erro pad. Est.	C.I. da média
3666		0.483	0.122	0.00202	0.00396
Alcance	Max.	Min.	Mediana	25%	75%
0.795	0.955	0.16	0.475	0.42	0.515
Assimetria	Curtose	K-S Dist.	K-S Prob.	SWilk W	SWilk Prob
0.898	1.506	0.15	<0.001	0.933	<0.001

Dados da Área: C

Nº de dados		Mean	Dev. Pad	Erro pad. Est.	C.I. da média
1302		0.596	0.145	0.00401	0.00786
Alcance	Max.	Min.	Mediana	25%	75%
0.89	1.215	0.325	0.57	0.49	0.68
Skewness	Kurtosis	K-S Dist.	K-S Prob.	SWilk W	SWilk Prob
1.005	1.479	0.0799	<0.001	0.945	<0.001

Dados da Área: E

Nº de dados		Mean	Dev. Pad	Erro pad. Est.	C.I. da média
1488		0.699	0.162	0.00421	0.00825
Alcance	Max.	Min.	Mediana	25%	75%
0.65	1.015	0.365	0.71	0.57	0.835
Assimetria	Curtose	K-S Dist.	K-S Prob.	SWilk W	SWilk Prob
0.136	1.011	0.0576	<0.001	0.969	<0.001

Apêndice 2

Tabela 7 - Modelos de semivariogramas teóricos ajustados, parâmetros de ajuste, coeficiente de determinação (R^2), soma dos quadrados dos resíduos (SQR) e grau de dependência espacial (GDE).

Área	Modelo	C_0	C_0+C	A(m)	R^2	SQR	GDE (%)
A-B-C	Gaussiano	0,00021	0,001492	114	0,998	5,52E-07	14,070
D	Gaussiano	0,00040	0,057750	168	0,992	2,46E-03	0,690
E	Gaussiano	0,00010	0,112900	201	0,993	1,03E-05	0,088

C_0 : Efeito Pepita; $C_0 + C$: Patamar; A: Alcance da dependência espacial; GDE; $C_0/(C_0+C)$ = grau de dependência espacial.

Apêndice 3

Tabela 8 - Coeficiente de determinação (R^2) entre os valores estimados pelo semivariograma teórico e os observados, e o respectivo coeficiente de regressão da reta de ajuste (R):

Área	R^2	R
A-B-C	0,98	1,00
D	0,98	1,00
E	0,98	0,99

Apêndice 4

Tabela 9 - Tabela de análises da área de armazenamento (%).

ASSISTAT Versão 7.6 beta (2011) - Homepage <http://www.assistat.com>
 Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFMG - Atualiz.30/07/2012

=====

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	1485.26852	495.08951	142.3965 **
Resíduo	16	55.62940	3.47684	
Total	19	1540.89792		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	16	5.2922	142.3965	<0.001

Médias de tratamento

1	23.52800	a
2	15.30200	b
3	5.06400	c
4	1.67400	d

dms = 3.37724

MG = 11.39200

CV% = 16.37

Ponto médio = 13.59500

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.
 Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Apêndice 5

Tabela 10 - Tabela de análises do volume de água armazenado.

=====

ASSISTAT Versão 7.6 beta (2011) - Homepage <http://www.assistat.com>
 Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG - Atualiz.30/07/2012

=====

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	4097.23234	1365.74411	24.2436 **
Resíduo	16	901.34884	56.33430	
Total	19	4998.58118		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	16	5.2922	24.2436	<0.001

Médias de tratamento

1	37.51400	a
2	22.40800	b
3	5.45600	c
4	1.62600	c

dms = 13.59429

MG = 16.75100

CV% = 44.81

Ponto médio = 27.54000

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.
 Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

9. Anexo

Anexo 1:

Tabela 11 - Dados de evaporação do "Tanque Classe A" obtidos da Estação Agroclimatológica do Capão do Leão.

Evaporação	Tanque	Classe	A	(mm)	Período: 1971/2000 (Mensal/Anual)												
					Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Agos	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Estação Agroclimatológica: Capão do Leão -RS																	
Embrapa/UFPEL/INMET																	
RS																	
Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Agos	Set	Out	Nov	Dez	Anual				
1971	-132,3	118,4	101,1	101,1	60,1	64,9	62	77,2	73,3	105,9	198,3	266,4	1291,9				
1972	161,1	105,7	122,2	101,7	101,7	67,3	50,2	47,8	44,4	81,1	116,4	153,1	217,7	1300,7			
1973	199	143,7	155,1	155,1	87,6	58,6	51,4	47,5	62,9	71	134,6	185,2	153,5	1382,1			
1974	175,7	124,4	120,2	108,9	108,9	53,5	51,8	54,3	62,8	59,5	154,5	173,9	197,6	1369,1			
1975	212,9	156,3	140,7	105,6	105,6	62,1	52,9	71,1	51,9	62,9	143,1	161,8	220,4	1473,6			
1976	180,3	187,9	135,2	94,8	94,8	58,4	59,9	52,9	57,3	75	153,7	166,5	197,8	1451,6			
1977	194,3	132,1	148,6	91,7	91,7	61,7	41,1	62,4	52,8	71,6	136,8	187,6	215,9	1428,6			
1978	219,7	181,2	136,8	111	111	75,8	52,6	43,9	59,7	93,6	126,4	167,3	218,6	1518,6			
1979	257,1	200,2	131,5	84,6	84,6	75,7	54,3	62,7	56	79,3	119,4	174,2	191	1518			
1980	224,1	189,8	143,7	98,3	98,3	73	55,3	70	72	96,6	123,9	163,1	184,4	1526,2			
1981	205,1	163,5	139,8	122,3	122,3	81,3	49,7	67,6	79,8	70,6	150,1	197,1	222,5	1581,4			
1982	220,8	155,7	164,7	140,9	140,9	80,8	50,9	60,7	61,8	77	170,5	151,2	214,7	1581,7			
1983	195,1	134,8	152,9	93,6	93,6	63,5	52,3	56	66,1	83,6	150,8	169,9	198,1	1448,7			
1984	158,9	160,2	156,2	112,8	112,8	61,5	52,5	56,4	63,5	68,4	134,8	175	222,3	1454,5			
1985	216,6	182,9	158	92,8	92,8	71	53,6	53,7	47,5	73,1	147,3	193,2	224,4	1546,1			
1986	233,1	173	140,6	89,2	89,2	80	57,3	60,7	65,8	78,6	149,6	162,7	219,6	1542,2			
1987	192,7	179,4	160,8	89,6	89,6	71,2	64,3	75,7	63,4	99,2	155,2	184,1	184,4	1552			
1988	193,8	171,3	175,6	117,4	117,4	76,3	56,1	68	73,3	64,3	173,8	220,6	251,8	1674,3			
1989	232,5	203,9	168,6	113,5	113,5	88,9	78,3	97,9	146,8	120,4	207,1	1489,9					
1990	210,1	118,9	129,1	95,6	95,6	73,6	58,6	64,2	73,2	78,3	135,7	170,4	228,1	1467,8			
1991	240	208,7	158,3	114,4	114,4	77,4	55,9	63,8	58,7	91,4	139	165,4	197,9	1603			
1992	233,9	150,1	156,7	98,6	98,6	81,5	60,2	66	77,4	74,7	159,8	196,3	236,6	1623,8			
1993	198,7	174,5	155,4	138,4	138,4	83,6	59,2	67,7	75,1	71,4	126,5	180,9	205,3	1568,7			
1994	227,3	131,2	159,5	109,5	109,5	69,7	60,2	56,8	72,7	95	130,4	185,6	242,7	1572,6			
1995	192,4	156,5	163,3	113,7	113,7	71,7	66,2	67,5	58,7	99,6	154,2	191,1	252,3	1637,2			
1996	165,3	184,8	168,3	113,3	113,3	72,6	61,5	66,7	69,3	75,3	143,1	198,6	211,1	1561,9			
1997	222,3	132,1	174,1	125,7	125,7	84,7	70,7	77	81,4	90,5	147	165,5	203,4	1606,4			
1998	155,4	130,3	140,7	92,5	92,5	65,2	55,3	64,4	71,6	84,6	165	202,6	222	1481,6			
1999	199,3	168,5	161,8	105	105	75,7	60,3	62,7	75,5	101,6	156,5	212,1	249,2	1660,2			
2000	236,7	197	142,8	102,6	102,6	80,9	59,2	67,6	89,6	86,5	135,1	193,4	211,2	1634,6			
Média	205,3	161	149,3	106,2	106,2	71,9	56,5	63,7	68,8	82,7	143,9	179,6	215,6	1529,1			