UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA ELISEU MACIEL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

Dissertação

Atributos físicos de um Planossolo e produtividade de arroz em sucessão com soja no sistema sulco-camalhão em terras baixas

Mikael Bueno Longaray

Pelotas, 2024

Mikael Bueno Longaray

Atributos físicos de um Planossolo e produtividade de arroz em sucessão com soja no sistema sulco-camalhão em terras baixas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área do conhecimento: Manejo e Conservação do Solo e da Água).

Orientadora: Profª. Drª. Cláudia Liane Rodrigues de Lima

Coorientadora: Drª. Walkyria Bueno Scivittaro

Pelotas, 2024

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

L848a Longaray, Mikael Bueno

Atributos físicos de um Planossolo e produtividade de arroz em sucessão com soja no sistema sulco-camalhão em terras baixas [recurso eletrônico] / Mikael Bueno Longaray ; Cláudia Liane Rodrigues de Lima, orientadora ; Walkyria Bueno Scivittaro, coorientadora. — Pelotas, 2024.
43 f. : 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, 2024.

1. *Oryza sativa* L.. 2. Densidade do solo. 3. Porosidade do solo. 4. Condutividade hidráulica do solo saturado. 5. Produtividade do arroz. I. Lima, Cláudia Liane Rodrigues de, orient. II. Scivittaro, Walkyria Bueno, coorient. III. Título.

CDD 633.181

Elaborada por Ubirajara Buddin Cruz CRB: 10/901

Mikael Bueno Longaray

Atributos físicos de um Planossolo e produtividade de arroz em sucessão com soja no sistema sulco-camalhão em terras baixas

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 29 de fevereiro de 2024

Banca examinadora:

Profª. Drª. Cláudia Liane Rodrigues de Lima (Orientadora)
Doutora em Agronomia, na área de Solos e Nutrição de Plantas, pela Universidade de São Paulo, USP e Pós Doutorado obtido em Ciência do Solo, pela Universidade Federal de Santa Maria, UFSM

Prof. Dr. Carlos Ricardo Trein
Doutor em Engenharia agrícola pela University of Cranfield de Cranfiel, Inglaterra

Profª. Drª. Maria Cândida Moitinho Nunes
Doutora em Ciência do Solo PPG Ciência do Solo (Erosão e Conservação do Solo), pela Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Drª. Marília Alves Brito Pinto
Doutora em Agronomia e Pós-doutorado em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pelotas

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água (MACSA) e à Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), aos professores pelo conhecimento concedido e amizade.

À orientadora Profª. Drª. Cláudia Liane Rodrigues de Lima, pela oportunidade concedida.

À minha namorada Juliana Maciel Bicca que não mediu esforços e apoio para realização deste aprimoramento profissional.

À Embrapa Clima Temperado pelo apoio, disponibilidade de recursos e espaço físico, indispensáveis para execução deste trabalho.

Ao funcionário do Laboratório de Física do Departamento de Solos da FAEM-UFPel, Paulo Antunes, pela paciência e dedicação nas análises.

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

Resumo

LONGARAY, Mikael Bueno. **Atributos físicos de um Planossolo e produtividade de arroz em sistema residual de soja e sob sulco camalhão em áreas de várzea.** Orientadora: Cláudia Liane Rodrigues de Lima. 2024. 41f. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação do Solo e da Água) - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2024.

A implantação da cultura do arroz diretamente sobre a resteva da soja cultivada em sulco camalhão é uma alternativa promissora, mitigando custos referentes ao preparo da área (utilização de implementos, consumo de combustível e mão de obra) e, viabilizando a técnica de plantio direto, prática benéfica à melhoria dos atributos físicos do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos físicos e a produtividade do arroz cultivado em um Planossolo sob sistema residual da soja e em sistema sulco-camalhão. O experimento foi conduzido por dois anos (safras 21/22 e 22/23) na Embrapa Clima Temperado, Estação Experimental de Terras Baixas (ETB) situada no município do Capão do Leão-RS. Foram determinados os seguintes atributos físicos: densidade do solo, porosidade do solo, condutividade hidráulica de solo saturado, resistência mecânica à penetração, e a produtividade de grãos das cultivares de arroz BRS Pampa e XP 113. Os resultados indicam menor densidade e maior porosidade total do solo em plantio direto do arroz em resteva de soja no sistema sulco-camalhão em comparação com o sistema convencional. No sistema de cultivo sulco-camalhão os atributos físicos do solo impactam a produtividade do arroz, sob plantio direto com a diminuição da densidade e aumento da porosidade do solo as cultivares Pampa CL e XP 113 apresentam maiores produtividades.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L.; densidade do solo; porosidade do solo; condutividade hidráulica do solo saturado; produtividade do arroz.

Abstract

LONGARAY, Mikael Bueno. **Atributos físicos de um Planossolo e produtividade de arroz em sistema residual de soja e sob sulco camalhão em áreas de várzea.** Advisor: Cláudia Liane Rodrigues de Lima. 2024. 41p. Dissertation (Master's Degree in Soil and Water Management and Conservation) – Graduate Program in Soil and Water Management and Conservation, Eliseu Maciel Agronomy College, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2024.

The rice crop planted directly on the harvested soy crop in a ridge-furrow system is a promising alternative, mitigating costs due to land preparing (less use of machines, saving oil and labor) and allowing no-tillage, a beneficial practice to improve the physical attributes of the soil. The objective of this work was to evaluate the physical attributes and productivity of rice cultivated in an Planosol under the harvested soybean residues and in a ridge-furrow system. The experiment was carried out for two years (21/22 and 22/23 harvests) at Embrapa Clima Temperado, Experimental Station of Terras Baixas (ETB) located in Capão do Leão-RS. The following physical attributes were determined: soil density, soil porosity, hydraulic conductivity of saturated soil, resistance to penetration were the evaluated soil parameters, and grain yield of rice cultivars BRS Pampa and XP 113 was evaluated too. The results indicate lower density and higher total soil porosity in no-tillage rice planted on soybeans residues in the ridge-furrow system. Using the furrow. The physical attributes of the soil impact the rice productivity, under no-tillage with the decrease in soil density and increase in soil porosity, the rice yield was higher.

Keyword: *Oryza sativa* L.; Soil bulk density; soil porosity; soil saturated hydraulic conductivity.

Sumário

1. Introdução 8
2. Revisão de literatura 10
2.1 Importância do cultivo do arroz 10
2.2 Rotação de cultura 10
2.2.1 Controle do arroz vermelho 12
2.3 Sulco-camalhão 12
2.4 Arroz cultivado no sistema sulco-camalhão 14
2.5 Irrigação da cultura antecessora (soja) 16
2.6 Viabilidade econômica 18
2.7 Atributos físicos dos solos em terras baixas do RS 18
3. Materiais e Métodos 20
3.1 Área experimental 20
3.2 Cultivo 20
3.3 Delineamento experimental 21
3.4 Análises físicas do solo 22
3.5 Produtividade da cultura do arroz 23
3.6 Análises estatísticas 23
4. Resultados e discussão 25
4.1 Atributos físicos do solo 25
4.2 Produtividade do arroz 30
4.3 Relação entre os atributos físicos do solo e a produtividade do arroz 31
5. Conclusões 33
Referências 34

1. Introdução

O monocultivo de arroz nos solos de várzea mostra-se ineficiente quanto ao propósito de incremento da produtividade, no que tange ao aumento da resistência a bióticos de plantas daninhas aos herbicidas utilizados, ao custo operacional e pela degradação do solo.

A rotação de cultura vem se expandindo com destaque para a soja, principalmente pelos altos valores de comercialização do grão e ao pacote tecnológico disponível no mercado. Porém, é necessário prover condições favoráveis para a cultura de sequeiro possuir boa produtividade nos solos hidromórficos gaúchos, e uma alternativa promissora é a implantação em sistema de sulco-camalhão, pois além de promover a drenagem, possibilita a irrigação por sulco.

A análise de viabilidade da semeadura de arroz diretamente sobre a resteva da soja, cultivada em sulco-camalhão, objetiva aumentar as áreas de sistema de plantio direto no estado em relação ao cultivo mínimo, convencional e pré germinado. O plantio direto apresenta benefícios amplamente conhecidos, principalmente nos aspectos relacionados às características de condicionamento físico do solo, por sua vez, a rotação de cultura com a inserção de sulco-camalhão para o cultivo de soja é fundamental para alcançar melhores índices de produtividade, devido a ciclagem de nutrientes em estratos diferentes do solo e, alternância de princípios ativos dos produtos químicos usados com aumento da matéria orgânica disponível.

Os benefícios da rotação soja-arroz, têm sido consolidados na cadeia produtiva. O aumento das áreas neste sistema é limitado por condições edafoclimáticas. A melhoria nas condições de implantação e manejo que o sulco-camalhão propicia à cultura da soja aliado a técnica de plantio direto, promove a redução dos custos operacionais, devido ao não revolvimento do solo, principalmente na diminuição do uso de combustível e uso de herbicidas, promovendo maior rentabilidade ao produtor.

Somado aos benefícios econômicos do sistema, temos a melhoria na qualidade do solo, pois o sistema de rotação de cultura com plantio direto tem colaborado na recuperação da matéria orgânica e auxiliado no controle de plantas daninhas, apresentando por sua vez, maior infiltração da água no solo, redução da erosão e de nutrientes nestas áreas.

Devido à implantação da soja com sucesso em cultivo no sistema sulco-camalhão, vislumbra-se a implementação do arroz sobre os resíduos da cultura antecessora, sem nenhum preparo prévio, utilizando o sulco existente para a irrigação, diminuindo os custos da implantação, o volume de irrigação e promovendo condições favoráveis à melhoria dos atributos físicos do solo.

Desta forma a hipótese deste trabalho é de que a implementação da cultura do arroz em sulco-camalhão na técnica de semeadura direta após colheita da soja, seja viável no que tange a melhoria da qualidade física de um Planossolo do solo e a produtividade do arroz.

O objetivo geral da pesquisa é avaliar os atributos físicos do solo e a produtividade do arroz cultivado sob plantio direto em sistema sulco-camalhão em um Planossolo. Neste contexto os objetivos específicos foram:

a) Quantificar a densidade, a porosidade, a condutividade hidráulica do solo saturado e a resistência mecânica à penetração em áreas de arroz cultivadas no sistema sulco-camalhão sob plantio direto.
b) Determinar produtividade do arroz cultivado em sistema plantio direto com sulco-camalhão.
c) Avaliar a relação entre os atributos físicos do solo e a produtividade do arroz cultivado sob plantio direto em sistema sulco-camalhão.

2. Revisão de literatura

2.1 Importância do cultivo do arroz

Dentre os cereais mais cultivados e consumidos no mundo, o arroz merece destaque especial. Primeiro, por ser um alimento em que o grão sai do campo e é consumido praticamente sem processo de industrialização e, por atender populações com alto e baixo poder aquisitivo, por apresentar preço relativo menor a outros cereais e, responder pelo suprimento de 20% das calorias. Desempenha papel estratégico na solução de questões de segurança alimentar, sendo um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana, sendo a base alimentar de mais de três bilhões de pessoas. É o segundo cereal mais cultivado no mundo, ocupando área aproximada de 161 milhões de hectares. A produção de cerca de 756,5 milhões de toneladas de grãos em casca corresponde a 29% do total de grãos usados na alimentação humana (SOSBAI, 2022).

O estado do Rio Grande do Sul é responsável por 70% do arroz produzido no Brasil, e em 2022 foram cultivados 935.567ha, e produzidas 7.671.078 toneladas (IBGE, 2022).

2.2 Rotação de cultura

Rotação de cultura é a alternância planejada de espécies vegetais no decorrer do tempo na mesma área agrícola. As culturas que fazem parte do sistema devem ser diferentes entre si de forma a explorar diferentes estratos do solo, bem como demandar recursos edafoclimáticos em níveis distintos. A rotação de cultura alternando espécies vegetais demonstra ser fundamental para manutenção da crescente produtividade. A histórica utilização das áreas produtivas com a alternância de arroz/pecuária vem se demonstrando prejudicial ao sistema, resultando na redução da produtividade nas áreas que adotam esse manejo, aumentando a incidência de espécies daninhas resistentes aos principais herbicidas da cultura do arroz e aumentando os custos relacionados ao manejo de solo (Concenço et al., 2020).

A rotação de cultura foi citada como fator importante como a redução do preparo do solo, técnica onerosa e que depende de equipamento pesado,

principalmente no manejo e na implantação da soja e do arroz irrigado. Ao contrário do arroz, que é cultivado sob inundação, a soja é uma cultura de sequeiro. Em condições de clima favorável, em que não ocorram danos à superfície do solo, como rastro de máquinas, durante a colheita é possível a implantação da cultura sucessora, sem nenhum preparo prévio (Stone; Silveira, 2001).

Tradicionalmente, as áreas de várzea após a utilização com monocultivo de arroz estão alternam o uso das mesmas em pousio e pecuária, predominantemente de corte, causando a degradação natural dos recursos naturais, afetando negativamente o desenvolvimento da cultura principal (Reis, 1998; Silva et al., 2015).

A cultura do arroz em rotação com a soja demonstra melhor utilização do solo e disponibilidade de nutrientes, aumento dos teores de matéria orgânica, aproveitamento do nitrogênio residual e, controle mais eficiente de plantas daninhas e de insetos-pragas (Schoenfeld, 2010).

A rotação com leguminosas produziu maiores rendimentos de grãos e melhor eficiência no uso de nitrogênio do que as culturas de arroz cultivadas após o pousio. Ao contrário do nitrogênio aplicado, o produzido por todas as leguminosas, está prontamente disponível e pode ser usado com eficiência pelas lavouras de arroz. A incorporação de resíduos de leguminosas pode ser uma fonte alternativa de fertilizante nitrogenado para a produção sustentável de arroz sem reduzir significativamente os níveis de produtividade (Garcia; Rosolem, 2010).

A escolha da utilização da cultura da soja, em rotação a produção de arroz, é devida principalmente à rentabilidade vislumbrada pelos produtores e pela disponibilidade de um conjunto de tecnologias que tem viabilizado seu cultivo (Hirakuri et al., 2019). Apesar do seu constante crescimento, esteve presente em apenas 426.212ha na safra 2021/2022 (IRGA, 2022), levando em consideração apenas as áreas destinadas à rotação com arroz.

Atualmente, o fator que limita o aumento das áreas de cultivo de grãos de sequeiro, nas várzeas, é a dificuldade com o manejo da água, pois as terras baixas possuem deficiente drenagem natural, que, por sua vez, ocorre devido à topografia predominantemente plana, adensamento do horizonte superficial, alta relação micro/macroporosidade (inadequada relação água/ar para a maioria das espécies produtoras de grãos), e principalmente, condutividade hidráulica praticamente nula no horizonte B (Parfitt et al., 2017).

Para a viabilização do cultivo de sequeiro em áreas de várzea, uma alternativa promissora é o cultivo em sistema de sulco-camalhão, pois este tem como objetivo proporcionar melhoria nas condições de drenagem e a possibilidade de irrigação, para o desenvolvimento de culturas de sequeiro em solos de várzea (Gomes et al., 2006 e Da Silva et al., 2007). Esta tecnologia apresenta sucesso desde a fase inicial da cultura, pois permite a irrigação por sulcos evitando frequentes reduções em estandes devido ao excesso de água (Parfitt et al., 2017). Há também redução dos custos com o preparo do solo para o arroz e melhor implantação de pastagens de inverno.

No entanto, dentre outros cuidados, o solo deve ser manejado de forma a reduzir a compactação e o estresse hídrico, visando o adequado desenvolvimento de raízes dos cultivos em profundidade (Parfitt et al., 2019).

2.2.1 Controle do arroz vermelho

O arroz vermelho causa sérios problemas e está presente na maioria das áreas cultivadas por inundação no mundo. Pela elevação da infestação das áreas, os prejuízos são devidos à diminuição do rendimento de grãos, redução da qualidade do produto comercial.

O arroz vermelho é de difícil controle, pois as sementes permanecem viáveis por longos períodos. O controle químico é limitado pois apresenta a mesma espécie do arroz cultivado. A tecnologia *Clearfield* (CL) é atualmente a mais empregada para o controle de arroz vermelho, porém já existe presença de arroz vermelho com resistência a essa tecnologia.

A rotação de culturas é um método eficiente no controle do arroz vermelho (Smith, 1976; Marchezan et al., 1995; Petrini et al., 1998)

Segundo Andres et al. (2001), a rotação de cultura com soja, milho e sorgo, independente da sequência utilizada, proporcionaram menor número de sementes de arroz vermelho na superfície do solo do que o monocultivo do arroz.

2.3 Sistema sulco-camalhão

O primeiro passo na realização do projeto da lavoura em sulco-camalhão é avaliar a drenagem natural do terreno. Nesta análise deve-se evitar que os camalhões interceptem linhas de fluxo (drenos), e avaliar se depressões existentes ao longo do

sulco serão superadas com facilidade pelo camalhão, devendo sempre a locação de camalhões seguir o sentido do fluxo de água.

O sistema sulco-camalhão (Figura 1) consiste na estruturação da lavoura para a irrigação por sulcos, obtendo-se ao mesmo tempo, grande benefício em drenagem, com o cultivo sobre os camalhões formados entre os sulcos. É indicado para solos planos, com declividades uniformes, requerendo geralmente, a sistematização do terreno. Para a irrigação por sulcos, a faixa de declive recomendada situa-se entre 0,1 à 0,5%, sendo o valor intermediário de 0,3% que proporciona irrigações mais uniformes. Em terrenos com declividades resultantes superiores à 0,5%, deve-se procurar construir os sulcos camalhões em um ângulo que proporcione declividades menores. Por outro lado, quanto menor o declive, maiores serão os problemas de drenagem em anos chuvosos, consequência do maior armazenamento superficial de água. Áreas sistematizadas sem declive (cota zero), requerem sulco camalhões mais largos e mais altos para garantir boa drenagem.

Figura 1 – Sistema sulco-camalhão. Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

O comprimento e a largura do sulco/camalhão são determinados pelas circunstâncias naturais, isto é, a declividade do terreno, tipo do solo e vazão de água disponível. Entretanto, outros fatores podem ter influência, tais como a altura da lâmina de irrigação, o manejo da cultura e o comprimento do quadro da lavoura. Para cultivos nas regiões de ocorrência de Planossolo, não são indicados comprimentos de

sulcos camalhões maiores que 400 m. A largura dos camalhões está condicionada ao tipo de solo e às práticas de cultivo (Da Silva et al., 2007).

Como regra geral, em solos mais arenosos, o afastamento entre sulcos não deve ultrapassar a 0,70m, e em solos argilosos, podem atingir 1,80m. A largura dos camalhões está em função do espaçamento utilizado para as culturas, aliado à distribuição espacial de plantas que proporcione o melhor desempenho produtivo, e das operações mecanizadas realizadas na lavoura. O sulco-camalhão deve ser instalado na direção que melhor se adapte à relação comprimento/declive do terreno. Dependendo do maior ou menor problema de drenagem da área a ser cultivada, que exigirá uma maior ou menor largura de camalhões, e do espaçamento entre linhas utilizado para a cultura podem ser semeadas uma, duas ou três linhas em cada camalhão (da Silva et al., 2007).

2.4 Arroz cultivado no sistema sulco-camalhão

No início das pesquisas com a irrigação por sulco, a possibilidade de irrigação era apenas a inundação intermitente em áreas mais planas ou diretamente pelos sulcos em áreas com declividade, com auxílio de taipas e sifões conforme da Silva et al. (2007). Atualmente, uma nova possibilidade utilizada com vantagem operacional e a redução do custo de mão de obra é a irrigação em sulco, utilizando politubos plásticos, especialmente em áreas com baixa declividade (Figura 2).

Figura 2 – Irrigação do arroz por politubo na área experimental. Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Segundo Tracy (1993), os orizicultores do Missouri, EUA, começaram a produção irrigada por sulcos a partir de 1990. Cerca de 30% do arroz é produzido com irrigação por sulco. Em campos bem adaptados ao arroz inundado, a irrigação por sulco geralmente não aumenta a produção. A principal vantagem do arroz irrigado por sulcos é que não são necessários diques e portões. Isso economiza tempo e mão de obra para os produtores de arroz, e possibilita drenar a soja, reduzindo o custo de irrigação quando comparado com a irrigação contínua.

Na região do Delta no Mississipi/USA o arroz é normalmente cultivado em rotação com soja. Com o arroz irrigado por sulco é necessário menos preparo e mão-de-obra, porque os diques de arroz não precisam ser removidos antes do plantio da soja. Durante a temporada de arroz, as comportas precisam ser monitoradas e ajustadas. A irrigação por sulco também pode usar menos água do que a inundação em cascata, dependendo de como ela é gerenciada (MASSEY et al., 2014),

A introdução da cultura de arroz em camalhões foi uma alternativa encontrada pelos produtores nos trópicos australianos, pois existe a dificuldade de preparo da área para plantar milho ou soja em rotação com arroz. As chuvas de monção geralmente atrasam o preparo do solo necessário para transformar o solo de arroz em um sistema drenado de canteiros elevados, ou vice-versa, e a oportunidade de cultivo é perdida. A capacidade de cultivar arroz em canteiros elevados elimina a necessidade de preparo de solo, para que os agricultores possam cultivar com segurança duas colheitas por ano. A inclusão de arroz e outras culturas em fileiras em um sistema de cultivo mecanizado é lucrativo, fornecendo aos agricultores opções de diversificação. Estudos indicam a diminuição da produtividade e atraso no desenvolvimento fenológico mais acentuado em cultivares de ciclo médio e longo, por sua vez, existe a importante diminuição de 32% do consumo de água (Ockerby; Fukai, 2001).

Na China, maior produtor mundial de arroz, contribuindo com 28% da produção global deste cereal, devido à escassez de água e mão de obra estão sendo estudadas alternativas de cultivo de arroz. Ensaios preliminares de viabilidade do plantio de arroz em sistema sulco-camalhão demonstraram bons resultados, segundo Chunlin (2010), com aumento da produtividade e diminuição dos custos de mão de obra e diminuição da utilização dos recursos hídricos.

Com a implantação do plantio de arroz em camalhão em rotação com o cultivo do trigo no mesmo sistema, a nível de pesquisa na fazenda da Universidade de Yangzhou, Jiangsu, os resultados mostraram a viabilidade do sistema e grande

potencial para implantação, mantendo a capacidade produtiva da cultura, com redução do consumo de água e diminuição dos gases de efeito estufa (He, 2010; Wang et al., 2018).

Desde estudos preliminares, a implantação em sulco camalhão é a semeadura direta da cultura do arroz, no camalhão oriundo da cultura antecessora (soja), sem preparo adicional, irrigado pelo sulco já existente, sem a necessidade de confecção de taipas, diminuem consistentemente os custos relacionados com o preparo da área, adotando um sistema de características ambientalmente favoráveis ao longo prazo (Scherner et al., 2018).

O arroz é considerado uma cultura rústica e bastante plástica quanto à sua densidade de semeadura, conforme já relatado (Gomes; Magalhães Jr., 2004), e assim, acredita-se que mesmo que ocorram algumas falhas de estabelecimento das plantas nas bases dos sulco-camalhões, o perfilhamento dos demais plantas na base do sulco, complementado pelo maior desenvolvimento das plantas nas demais linhas de semeadura muito provavelmente tenderá a compensar as falhas de estabelecimento nas lavouras comerciais, com manutenção da produtividade de grãos.

Concenço (2020) demonstra o potencial de viabilidade da semeadura direta do arroz sobre sulco-camalhão residuais de safra anterior de soja, esclarece porém, a necessidade de pesquisas analisando diversas sinergias, relacionando as características edafoclimáticas, com variedades distintas de arroz, e com outros sistemas de manejo desta cultura, antes que a semeadura do arroz diretamente sobre sulco-camalhão residual de safras anteriores possa ser amplamente recomendada.

2.5 Irrigação da cultura antecessora (soja)

Além dos benefícios relacionados à drenagem, o sistema de plantio em sulco-camalhão possibilita a irrigação direta no sulco ou de maneira intermitente. Em pesquisa de viabilidade, apontam que sistema de cultivo de soja em camalhões irrigados (Figura 3) apresentou aumento da produtividade na cultura em comparação à área conduzida em sistema convencional sem irrigação.

Figura 3 – Irrigação da cultura da soja em sulco-camalhão. Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Na mesma linha de pesquisa, Campos et al. (2021), analisaram a produtividade do projeto piloto do sistema sulco-camalhão, na safra 2019/2020, ano caracterizado por grandes perdas originadas pela seca, nas áreas do projeto piloto com soja irrigada, a produção foi 20 sacas ha^{-1} a mais que as áreas não irrigadas na mesma propriedade considerando-se as cotações da época em torno de R$ 90,00 $saca^{-1}$. Os custos adicionais para a realização da irrigação e drenagem por sulco-camalhão foi, em média, de 3,5 sacas ha^{-1}, o que indica uma excelente viabilidade econômica.

Além do retorno financeiro, o principal benefício do processo de irrigação e drenagem (Figura 4) proporcionado pela tecnologia sulco-camalhão é a segurança da produção obtida, tanto em anos secos como em períodos chuvosos.

Figura 4 – Eficiência do sistema de drenagem resultante do sulco-camalhão com cultivo de soja. Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

2.6 Viabilidade econômica do sistema de rotação de culturas

O sistema da rotação de culturas entre soja e arroz irrigado se consolidou na área de várzea do Rio Grande do Sul, onde além dos benefícios citados, as vantagens associadas à comercialização do produto podem ser obtidas. A soja é uma *commodity* produzida no Brasil e em várias partes do mundo, e seu maior mercado comprador é a China. O arroz irrigado cultivado no sul do Brasil é destinado principalmente ao mercado interno (Silveira; Stone, 2001).

Ao dividir o preço da saca de arroz pelo preço da saca de soja (valor nominal), observa-se que o valor do arroz em relação à soja diminui no primeiro semestre de cada ano e aumenta no segundo semestre do ano. De posse dessas informações, os produtores podem optar por vender arroz no segundo semestre e optar por comercializar a soja no primeiro semestre. Em outras palavras, a diversificação de culturas em uma propriedade por meio da rotação soja-arroz pode melhorar a estratégia de comercialização (Castro Filho et al., 1998).

A análise econômica da rotação de cultura e a estratégia agrícola bianual propicia menor suscetibilidade às oscilações econômicas do mercado, tornando o orizicultor menos vulnerável às oscilações de custo do arroz (Hirakuri et al., 2019).

2.7 Atributos físicos dos solos em terras baixas do RS

O cultivo do arroz utilizando inundação contínua em áreas situadas de terras baixas do estado do Rio Grande do Sul aumenta a compactação superficial, reduz a porosidade e a estabilidade de agregados (Beutler et al., 2012; Giacomeli et al., 2017; Gubiani et al., 2018; Sartori et al., 2015). Essa modificação na estrutura do solo ocasiona a redução da condutividade hidráulica e faz com que a infiltração de água ocorra lentamente, aspectos esses, que interferem negativamente no processo de drenagem natural (Gomes et al., 2006).

Os solos de terras baixas indicam capacidade de armazenar água durante os períodos de estiagem, assim, a disponibilidade de água para culturas não irrigadas é limitada. Dessa forma, a faixa de umidade ideal para o crescimento e desenvolvimento de culturas anuais é menor (Gubiani et al., 2018), reduzindo o potencial produtivo.

O manejo convencional com a utilização de grade aradora, grade niveladora e plaina, tende a reduzir de maneira artificial a densidade na camada superficial do solo

até 0,10m, porém esses processos ao longo dos anos propicia a compactação em camada subsuperficial, também conhecido como pé de grade (Bamberg et al., 2009). Em contraponto, o sistema de plantio direto promove a descompactação do solo de maneira natural, constante e progressiva (Sánchez-Llerena et al., 2016).

É importante salientar que os atributos físicos do solo, atuam em determinadas condições na modificação de atributos químicos e biológicos do solo, como por exemplo, a alteração do potencial redox, aumento da condutividade elétrica, aumento do pH e atividade microbiana (Sousa et al., 2015).

3. Material e Métodos

3.1 Área experimental

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, no município de Capão do Leão, Rio Grande do Sul. O solo desta área é um Planossolo Hidromórfico Eutrófico solódico, unidade de mapeamento Pelotas (EMBRAPA, 2013).

3.2 Cultivo em sistema sulco-camalhão

A área foi previamente sistematizada em plano inclinado com desnível de 0,3% no sentido longitudinal do sulco, o camalhão foi preparado na sequência com uso da camalhoeira, modelo sulcosystem, KLR implementos. Cada camalhão apresentou 0,60 m de base e altura de 0,20 m do topo do camalhão em relação ao sulco, este por sua vez, tem 0,30 m de profundidade, o comprimento dos sulcos e camalhões é de 300 m.

A vegetação espontânea, foi previamente dessecada com a utilização de drone para aplicação dos herbicidas, para não prejudicar a estruturação dos camalhões, seguindo indicações técnicas para o arroz irrigado na região sul do Brasil (SOSBAI, 2018) assim como a adubação do solo.

Para a avaliação deste experimento foram selecionadas 2 (duas) cultivares: o híbrido de arroz irrigado XP113, da empresa Ricetec, com ciclo de 130 dias e a cultivar Pampa CL da Embrapa, com ciclo de 118 dias. Os híbridos são comumente utilizados em cultivos irrigados por sulco nos Estados Unidos, os quais apresentam bom desempenho agronômico e produtivo. A cultivar Pampa escolhida apresenta excelente rendimento de inteiros e produtividade e boa aceitação na cadeia produtiva (Magalhães Júnior, 2011).

No primeiro ano, o arroz foi semeado diretamente em camalhão sem prévio cultivo (Figura 5), a fim de caracterizar as condições iniciais do projeto. No segundo ano, foi realizada a implantação em sulco camalhão na área oriunda de resteva de soja. ´

Figura 5 – Implantação do arroz em sulco-camalhão sem prévio cultivo. (A) Pré semeadura. (B) Pós semeadura. Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Na primeira safra, a semeadura ocorreu em 29 de outubro de 2021 e na segunda safra em 8 de novembro de 2022, ambas com densidade de 100 kg ha^{-1} de sementes viáveis para a cultivar Pampa CL e 50 kg ha^{-1} para o híbrido XP113. Utilizou-se uma semeadora pantográfica, a fim de copiar o relevo, não deixar sementes expostas e manter a padronização de profundidade, tanto no sulco como no camalhão. Utilizou-se um espaçamento entre linhas de 0,175 m e profundidade de semeadura de 0,03 m nos sulcos-camalhões.

3.3 Delineamento experimental

Em ambas as safras o experimento foi constituído em 18 parcelas contendo cada cultivar (6 parcelas e 3 repetições). Os tratamentos foram distribuídos nas partes superior, média e inferior do camalhão para evitar possíveis tendências de distribuição espacial ao longo da área experimental (Figura 6).

Figura 6 – Sistema sulco-camalhão na área experimental. Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Cada parcela abrangeu o sulco e o camalhão, sendo 0,60m no camalhão e 0,30m no sulco, totalizando 0,90m de largura e 3m de comprimento, sendo considerada a área útil de 2,7m².

3.4 Análises físicas do solo

As análises físicas foram executadas no Laboratório de Física do Departamento de Solos, da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas.

Para a determinação da densidade do solo, da porosidade total, da macroporosidade e da microporosidade, após a obtenção dos dados de produtividade da cultura do arroz, foram coletadas amostras com estrutura preservada utilizando cilindros de aço (0,050m de altura e 0,047m de diâmetro) na posição intermediária da camada de 0,00-0,10m. Foram realizadas 2 amostras por parcela, sendo 1 na parte do sulco e 1 no camalhão, totalizando 72 amostras, por ano agrícola, (3 blocos x 6 tratamentos x 2 repetições por parcela x 2 cultivares).

Para a determinação da macroporosidade, as amostras indeformadas foram saturadas em água por capilaridade durante 24h, sendo após colocadas em mesa de

tensão, onde atingiram equilíbrio à uma tensão de 6kPa. As amostras equilibradas foram secas na estufa à 105°C até obtenção do peso constante para determinação da microporosidade e da densidade do solo. Com a soma da macroporosidade e da microporosidade foi obtida a porosidade total (Blake; Harge, 1986).

Foram obtidos dados de resistência mecânica do solo à penetração (RP) em 2 repetições por parcela, totalizando 74 pontos amostrais (3 blocos x 6 tratamentos x 2 repetições x 2 cultivares). A resistência mecânica à penetração foi determinada até 0,40m utilizando o penetrômetro digital Falker (Penetrolog).

Para determinação da condutividade hidráulica saturada (Ksat), as amostras de solo com estrutura preservada foram saturadas por capilaridade durante 24 horas seguindo descrição de Libardi (2018).

Para determinação da condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat) utilizou-se se a equação:

$$K = (Q \times L) / (A \times t \times h)$$

Onde:

Q = volume de água percolada no tempo (cm^3)

L = comprimento da coluna de material de solo (cm)

A = Área da amostra onde flui a água (cm^2)

t = Tempo de escoamento da água (s)

h = carga hidráulica total (cm)

3.5 Produtividade da cultura do arroz

A colheita do arroz foi realizada quando o teor médio de umidade dos grãos atingiu 22%. Foram colhidos 2,7m^2 de cada parcela, o material passou por trilha mecânica, e, posteriormente foram retiradas as impurezas determinando-se o peso e a umidade de grãos. A produtividade de grãos foi padronizada na umidade de 13%.

3.6 Análises estatísticas

Para avaliar o efeito do ano e respectivo sistema de cultivo sobre os atributos físicos do solo e a produtividade do arroz foram realizados testes de média. Primeiramente foram avaliadas as duas pressuposições da análise paramétrica: 1 – a normalidade dos dados que foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk; 2 – testou-se a homogeneidade das variâncias.

Quando o conjunto de dados atendia as pressuposições da análise paramétrica foi feita a comparação entre as médias pelo teste de t-student ao nível de significância de 5%. Quando uma ou ambas as pressuposições da análise paramétrica não foram atendidas a comparação entre as medianas foi feita pelo teste não-paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney ao nível de significância de 5%.

Para análise da relação entre a produtividade do arroz e os atributos físicos do solo utilizou-se a correlação de Pearson. De acordo com Wheelan (2016) o coeficiente de correlação de Pearson mede a associação entre duas variáveis e trata-se de um número único que varia entre 1 e -1, e quanto mais perto de 1 ou -1 estiver a correlação, mais forte a associação.

Todas as análises foram feitas utilizando o programa computacional R-Project (R Core Team, 2020).

4. Resultados e discussão

4.1 Atributos físicos do solo

Nas áreas de cultivo de ambas as cultivares de arroz, houve diminuição significativa da densidade do solo no segundo ano de cultivo quando se utilizou o plantio direto do arroz em resteva de soja (Figura 7). Como se trata do primeiro ano utilizando plantio direto, essa diminuição da densidade do solo pode ter ocorrido pela ação de proteção da cobertura do solo. Segundo Bamberg et al (2009) a falta de cobertura do solo, expondo a sua superfície ao impacto das gotas das chuvas, pode favorecer a desagregação de agregados pouco estáveis e o resultado é a obstrução dos poros e o aumento da densidade do solo da camada superficial.

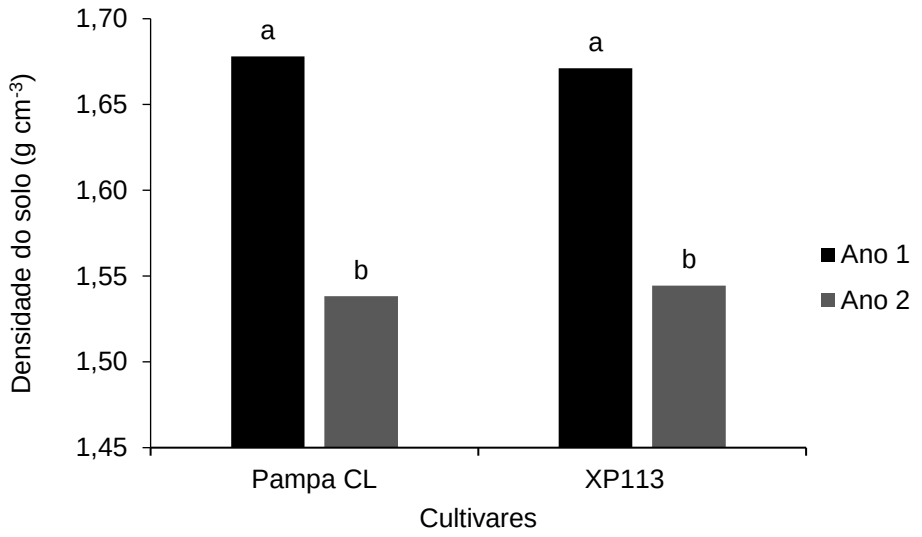

Figura 7 – Densidade do solo para cada cultivar de arroz nos dois anos avaliados. Valores seguidos pela mesma letra, em cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de t-student a 5%.

A porosidade total do solo foi significativamente maior no segundo ano de cultivo nas áreas de ambas as cultivares de arroz (Figura 8). Isso pode ter ocorrido pelo efeito das raízes e da cobertura do solo na agregação do solo, que por sua vez, aumenta a porosidade total do solo. Wohlenberg et al. (2004) verificaram maior agregação do solo em uma sucessão de gramíneas com leguminosas e atribuíram este comportamento ao sistema radicular da gramínea e à taxa de decomposição da leguminosa que favorece agregação pela ação das raízes, cobertura do solo,

fornecimento de material orgânico e conservação da umidade favorável à ação dos microrganismos.

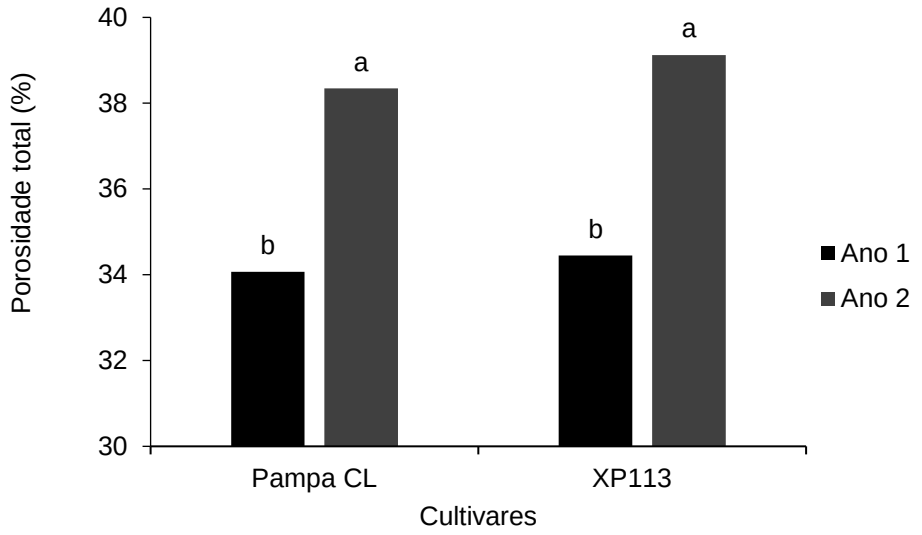

Figura 8 – Porosidade total do solo para cada cultivar de arroz nos dois anos avaliados. Valores seguidos pela mesma letra, em cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de t-student a 5%.

A macroporosidade do solo não foi influenciada pelo tempo de cultivo. No entanto observou-se valores inferiores a 5% de macroporosidade em ambas as áreas e anos de cultivo (Figura 9), segundo Godoy et al. (2015) valor de 10% é considerado limite inferior para a porosidade de aeração, abaixo do qual a difusão de oxigênio torna-se limitante ao crescimento e desenvolvimento das raízes. No entanto, o arroz é uma cultura adaptada ao cultivo em condições anaeróbicas, logo os baixos valores de macroporosidade não se mostraram restritivos para esta cultura.

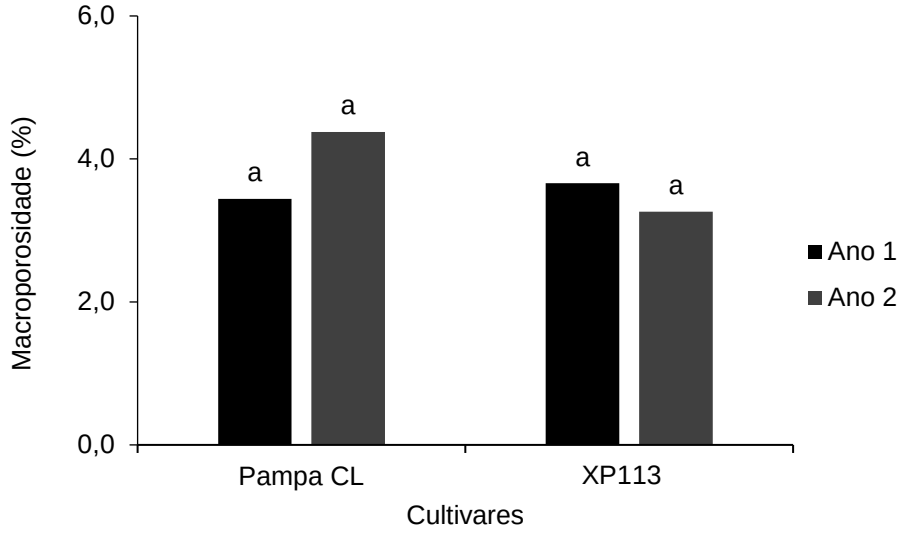

Figura 9 – Macroporosidade do solo para cada cultivar de arroz nos dois anos avaliados. Valores seguidos pela mesma letra, em cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de t-student a 5%.

Nas áreas cultivadas com ambas cultivares de arroz houve aumento da microporosidade no segundo ano de cultivo, mas somente na área com cultivar XP 113 esse aumento foi significativo (Figura 10). O aumento da microporosidade deve-se a diminuição da densidade do solo, segundo Schaffrath et al. (2008) a microporosidade do solo é uma variável que está ligada diretamente à densidade do solo e o manejo do solo pode modificar proporcionalmente o volume de microporos.

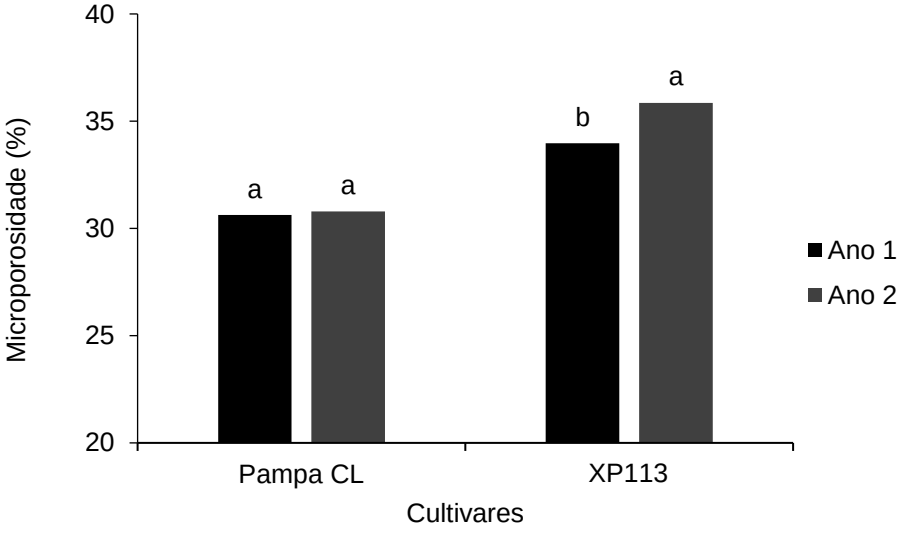

Figura 10 – Microporosidade do solo para cada cultivar de arroz nos dois anos avaliados. Valores seguidos pela mesma letra, em cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de t-student a 5%.

Não houve efeito do tempo e sistema de cultivo sobre a Ksat nas áreas com ambas cultivares de arroz, no entanto observou-se maiores valores no segundo ano

onde houve plantio direto (Figura 11). Uma vez que no segundo ano também foram obtidos os menores valores de densidade do solo (Figura 7) e maiores de porosidade total (Figura 8) explica-se os maiores valores de Ksat, segundo Lima et al. (2008) a maior quantidade de raízes e de matéria orgânica, e a menor compactação do solo (menor densidade, maior macroporosidade e porosidade total) favoreceram o aumento de condutividade hidráulica do solo saturado.

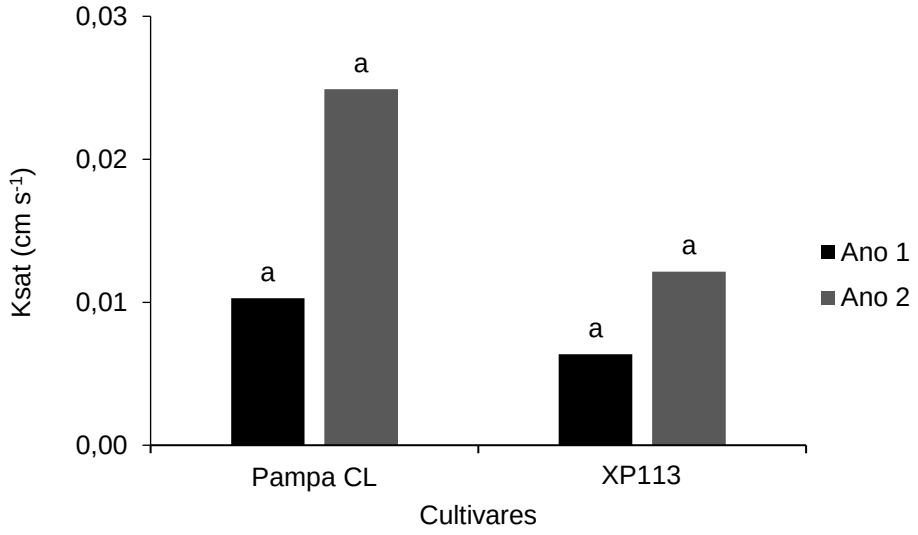

Figura 11 – Condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat) para cada cultivar de arroz nos dois anos avaliados. Valores seguidos pela mesma letra, em cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Wilcoxon-Mann-Whitney a 5%.

Os valores de RP (resistência à penetração) na área cultivada com a Pampa CL diminuíram significativamente nas camadas 0 - 0,10 e 0,30 - 0,40m no segundo ano (Figura 12), quando foi realizado o plantio direto. Reis et al. (2016) avaliaram a RP em Planossolos sob plantio direto e observaram que o maior tempo de implantação do sistema plantio direto reduz a densidade e a resistência à penetração atribuindo este resultado ao aumento na porosidade total e do diâmetro médio ponderado dos agregados.

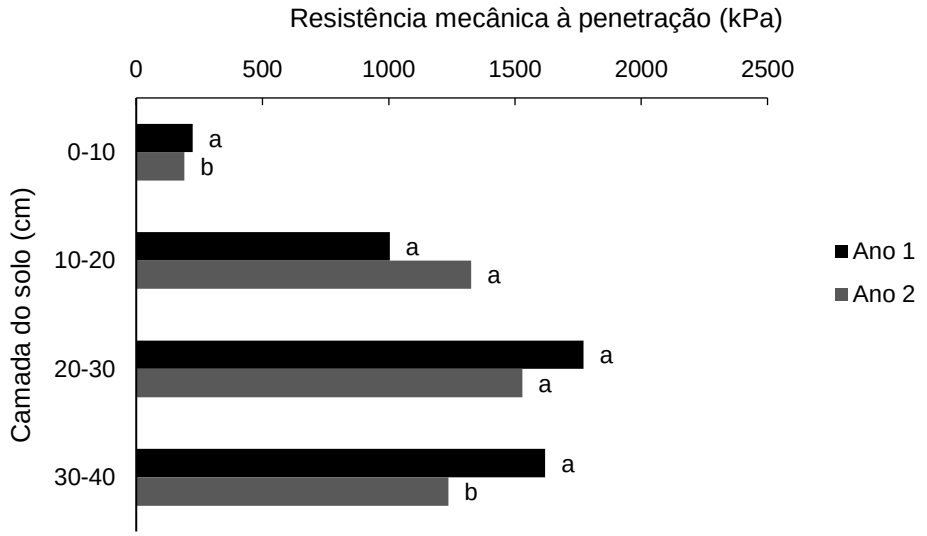

Figura 12 – Resistência mecânica à penetração (RP) de um Planossolo cultivado com arroz Pampa CL nos dois anos avaliados. Valores seguidos pela mesma letra, em cada camada de solo, não diferem entre si pelo teste de Wilcoxon-Mann-Whitney a 5%.

Os valores de RP na área cultivada com XP 113 foram menores no segundo ano nas camadas 0 - 0,10m, 0,20 - 0,30m e 0,30 - 0,40m, no entanto só foram significativamente inferiores na última camada (Figura 13). Assim como ocorreu na área cultivada com a Pampa, esse resultado pode ser explicado pelo efeito do plantio direto, uma vez que no segundo ano houve diminuição da densidade (Figura 7) e aumento da porosidade total (Figura 8).

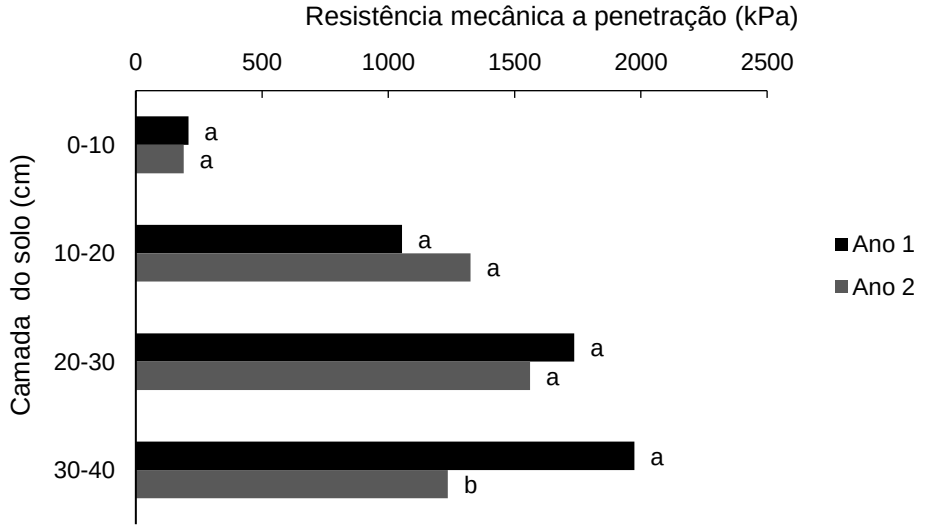

Figura 13 – Resistência mecânica à penetração (RP) de um Planossolo cultivado com arroz XP 113 nos dois anos avaliados. Valores seguidos pela mesma letra, em cada camada de solo, não diferem entre si pelo teste de Wilcoxon-Mann-Whitney a 5%.

Tanto na área cultivada com Pampa CL (Figura 12) quanto na área cultivada com XP 113 (Figura 13) observou-se o aumento da RP na camada 0,10-0,20m no segundo ano de cultivo. As amostras foram coletadas no dia subsequente à colheita, desta forma, devido ao arroz ser colhido com as plantas ainda verdes, a resistência das raízes pode ter influenciado essa informação.

4.2 Produtividade do arroz

Para ambas as cultivares de arroz a produtividade foi significativamente maior no segundo ano de cultivo (Figura 14), evidenciando que a melhoria das condições físicas do solo e diminuição da densidade do solo e aumento da porosidade total impactam na produtividade da cultura do arroz. Esse resultado pode ser em especial para o sistema sulco-camalhão, uma vez que, em estudos conduzidos com arroz irrigado por inundação Beutler et al. (2012) concluíram que a variação da densidade e da porosidade do solo em decorrência do manejo não altera a produtividade de arroz irrigado por inundação e que a produtividade de arroz irrigado por inundação não diferiu entre os sistemas plantio direto e convencional.

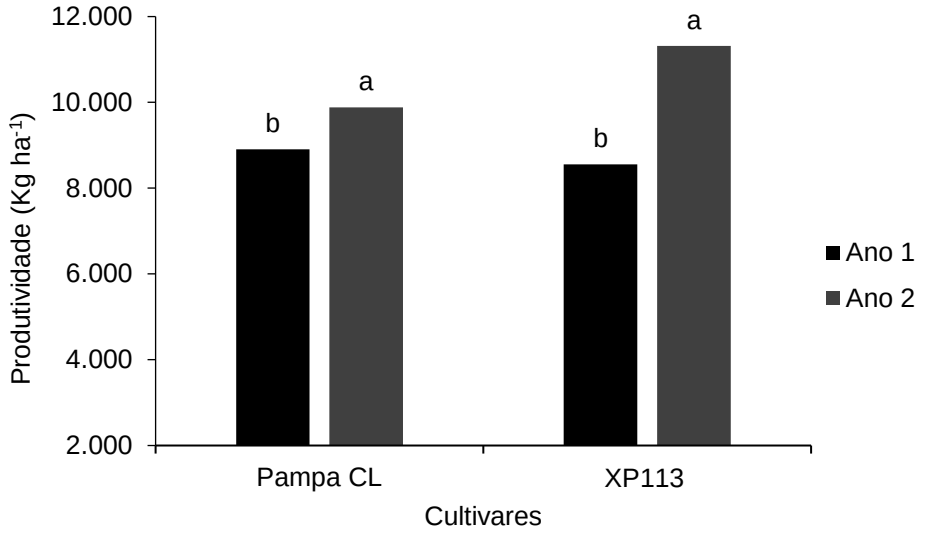

Figura 14 – Produtividade para cada cultivar de arroz nos dois anos avaliados. Valores seguidos pela mesma letra, em cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Wilcoxon-Mann-Whitney a 5%.

Para a cultivar Pampa CL a máxima produtividade esperada é de 10,2 t ha^{-1} quando irrigado por inundação. As produtividades obtidas neste estudo apresentaram-se em torno de 80% da máxima esperada. No sistema sulco-camalhão, sobretudo no terço superior do camalhão, o solo não permanece saturado o tempo todo, e o

aumento da tensão de água no solo impacta diretamente na produtividade do arroz. Pinto et al. (2020) avaliaram a produtividade da Pampa CL em função da tensão de água no solo e obtiveram a máxima produtividade de 8.811 kg ha^{-1}, que correspondeu a 87% da produtividade esperada.

Para a cultivar XP 113 são esperadas máximas produtividades de 14 t ha^{-1}, assim as produtividades obtidas neste estudo estiveram em torno de 70% (ano 1) e 80% (ano 2) das máximas esperadas.

Importante ressaltar que o sistema sulco-camalhão permite uso mais eficiente da água, a adoção de práticas conservacionistas como o plantio direto, e resulta em economia de custos uma vez que, as aplicações de agroquímicos e fertilizantes não precisam ser feitas por aeronaves.

4.3 Relação entre os atributos físicos do solo e a produtividade do arroz

A porosidade do solo para a cultivar XP 113 e da RP (0,10 – 0,20m) para a cultivar Pampa CL, ambos no segundo ano, não se observou correlação significativa entre os demais atributos do solo e a produtividade do arroz.

A produtividade de ambas as cultivares no segundo ano correlacionou-se negativamente com a densidade do solo e, positivamente com a microporosidade (Tabela 1), logo no sistema sulco-camalhão onde o solo não permanece fluido, como no sistema irrigado por inundação, é importante adotar práticas de manejo e conservação do solo uma vez que, o aumento da densidade do solo e diminuição da microporosidade reduzem a produtividade da cultura do arroz.

Tabela 1. Correlação de Pearson entre os atributos físicos do solo e a produtividade do arroz.

Atributos do solo/Produtividade	Pampa CL	XP113
	Produtividade	
[1]Densidade do solo	0,12^{NS}	-0,29^{NS}
[2]Densidade do solo	-0,48**	-0,57***
[1]Porosidade total	-0,12^{NS}	0,36*
[2]Porosidade total	0,12^{NS}	0,30^{NS}
[1]Macroporosidade	-0,22^{NS}	0,21^{NS}
[2]Macroporosidade	-0,31^{NS}	0,01^{NS}
[1]Microporosidade	0,04^{NS}	-0,07^{NS}
[2]Microporosidade	0,43**	0,37*
[1]Condutividade hidráulica saturada	-0,07^{NS}	0,06^{NS}
[2]Condutividade hidráulica saturada	-0,07^{NS}	0,21^{NS}
[1]RP (0 – 10 cm)	0,03^{NS}	0,02^{NS}
[2]RP (0 – 10cm)	0,21^{NS}	0,20^{NS}
[1]RP (10 – 20 cm)	0,07^{NS}	0,18^{NS}
[2]RP (10 – 20cm)	-0,49**	0,18^{NS}
[1]RP (20 – 30 cm)	0,08^{NS}	0,24^{NS}
[2]RP (20 – 30cm)	-0,27^{NS}	0,10^{NS}
[1]RP (30 – 40 cm)	0,09^{NS}	-0,15^{NS}
[2]RP (30 – 40cm)	0,26^{NS}	-0,01^{NS}

[1]Ano 1; [2]Ano 2; *P < 0.05; **P < 0.01; ***P < 0.001; ^{NS} P>0.05.

A cultivar XP 113 apresentou as maiores produtividades (Figura 11) e maior correlação negativa entre a densidade do solo e a produtividade de grãos, bem como correlação positiva significativa entre porosidade, microporosidade e a produtividade, o que pode indicar que os atributos do solo tenham maior impacto sobre essa cultivar. Isso evidencia a importância dos atributos físicos do solo para o cultivo do arroz no sistema sulco-camalhão.

Com a adoção do plantio direto observou-se a melhoria da qualidade física do solo, com a diminuição da densidade do solo e da resistência à penetração e o

aumento da microporosidade e da porosidade total influenciando na produtividade da cultura do arroz cultivado em sistema sulco-camalhão.

5. Conclusões

A semeadura do arroz diretamente sobre a resteva da soja, cultivada em sistema sulco-camalhão, propiciou a redução da densidade e o aumento da porosidade total do solo no segundo ano agrícola.

Através dos resultados indicados no experimento em Planossolo de terras baixas, é possível afirmar que a produtividade das cultivares de arroz Pampa CL e XP 113, cultivadas no sistema sulco-camalhão são maiores em sistema plantio direto em comparação com o sistema convencional.

Referências

ANDRES, André et al. Rotação de culturas e pousio do solo na redução do banco de sementes de arroz vermelho em solo de várzea. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 7, n. 2, 2001. Disponível em: https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/CAST/article/view/377. Acesso em: 24 ago. 2023.

BAMBERG, A.L.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; TIMM, L.C.; PINTO, L.F.S.; LIMA, A.C.R.; SILVA, T.R. Densidade de um Planossolo sob sistemas de cultivo avaliada por meio da tomografia computadorizada de raios gama. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1079–1086, 2009. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500001. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbcs/a/Ctc4ST5cxgxBTTXQNdzw5kP/?lang=pt. Acesso em: 26 ago. 2023.

BEUTLER, A. N.; MUNARETO, J.D.; RAMÃO, C.J.; GALON, L.; DIAS, N.P.; POZZEBON, B.C.; RODRIGUES, L.A.T.; MUNARETO, G.S.; GIACOMELI, R.; RAMOS, P.V. Propriedades físicas do solo e produtividade de arroz irrigado em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1601– 1607, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500024. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbcs/a/ytPvxrXmf3BjcYgXYwHLRBv/. Acesso em: 19 out. 2023.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p.363-37.

BOLETIM DE RESULTADOS DA SAFRA 2021/22 EM TERRAS BAIXAS: ARROZ IRRIGADO E SOJA. Disponível em: https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202209/26133439-relatorio-irga-safra-2021-22.pdf. Acesso em: 15 dez. 2022.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p. 527- 538, 1998. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000300019. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbcs/a/dXTDkRQqTBB3ZP5q8QnKXJS/abstract/?lang=pt. Acesso em: 22 ago. 2022.

CONCENÇO, G.; PARFITT, J.M.B.; SINNEMANN, C.S.; CAMPOS, A.D.S.; VEIGA, A.B.; BERGMANN, H.M.; MELO, T.S.; SILVA, L.B.X. Semeadura direta de arroz em resteva de soja cultivada no sistema sulco-camalhão. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 13221-13231, 2020. DOI: https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-258. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/7772. Acesso em: 22 ago. 2023.

CAMPOS, A. D. S.; CENTENO, A.; ANDRES, A.; PARFITT, J. M.B.; MELLO ARAUJO, L. B.; BUENO, M. V.; PINTO, M. A. B.; MARTINS, M. B.; VEBER, P. M.; SCIVITTARO, W. B. **Utilização da tecnologia sulco-camalhão na produção de soja e milho em terras baixas do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2021. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 506). Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1136688/utilizacao-da-tecnologia-sulco-camalhao-na-producao-de-soja-e-milho-em-terras-baixas-do-rio-grande-do-sul. Acesso em: 22 set. 2022.

DA SILVA, C. A. S. et al. Sistema sulco/camalhão para irrigação e drenagem em áreas de várzea. **Comunicado Técnico**, 165. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 4p. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/745907. Acesso em: 15 set. 2022.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p. Disponível

em: https://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00053080.pdf. Acesso em: 15 set. 2022.

GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 1489-1498, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010001200021. Disponível em: https://www.scielo.br/j/pab/a/6KVkq8ZnT5kB4d5JFTQXDTS/. Acesso em: 22 ago. 2023.

GIACOMELI, R.; MARCHESAN, E.; OLIVEIRA, M.L.; MARTIN, T.N.; TELÓ, G.M.; DONATO, G.; SILVA, M.F. Physical Properties and Crop Management for Corn in an Albaqualf. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1–14, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160237. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbcs/a/DQD4D35mkW4dJtdjGQGw9dJ/?lang=en. Acesso em: 22 ago. 2023.

GODOY, S. G. de; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. de B.; COBUCCI, T.; LACERDA, M. C. Correlação entre produtividade do arroz no sistema semeadura direta e atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p.119-125, 2015. DOI: https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p119-125. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/3NbfLtjwLVYShKPXYX6LRLy/?lang=pt. Acesso em: 22 ago. 2023.

GOMES, A.S. et al. **Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase as áreas de várzea do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 40 p. (Documentos, 169). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/746124/1/documento169.pdf. Acesso em: 23. abr. 2023.

GUBIANI, P. I.; MULLER, E.A.; SOMAVILLA, A.; ZWIRTES, A.L.; MULAZZNI, R.P.; MARCHEZAN, E. Transpiration reduction factor and soybean yield in low land soil with ridge and chiseling. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. 1–14, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170282. Disponível em:

https://www.scielo.br/j/rbcs/a/DvHX35rKf3spwY75cMGRD3s/?lang=en#. Acesso em: 26. jun. 2023.

HE, C Chunlin et al. Effects of furrow irrigation on the growth, production, and water use efficiency of direct sowing rice. **The Scientific World Journal**, v. 10, p. 1483-1497, 2010. DOI: https://doi.org/10.1100/tsw.2010.146. Disponível em: https://www.hindawi.com/journals/tswj/2010/420298/. Acesso em: 15 jun. 2023.

HIRAKURI, M. H.; CONTE, O.; PRANDO, A. M.; CASTRO, C. de; BALBINOT JUNIOR, A. A. (Ed.). Diagnóstico da produção de soja na Macrorregião Sojícola 1. Londrina: Embrapa Soja, 2019. 113 p. (Embrapa Soja. Documentos, 423). Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1111179/diagnostico-da-producao-de-soja-na-macrorregiao-sojicola-4. Acesso em 14 jun. 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/arroz/rs. Acesso em: 15 dez. 2023.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. v.3. São Paulo, Universidade de São Paulo, 2018. 352p.

LIMA, C. L. R. D.; PILLON, C. N.; SUZUKI, L. E. A. S.; CRUZ, L. E. C. D. Atributos físicos de um Planossolo Háplico sob sistemas de manejo comparados aos do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32, 1849-1855, 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000500006. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbcs/a/xsnqD8TNQbPzDPFt6kQ9bkG/. Acesso em: 29 nov. 2022.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. BRS Pampa: cultivar de arroz agulhinha incrementa produtividade no Sul. **A Lavoura**. v.114, p.44-45, 2011. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/924094/1/arrozPampaAriano.pdf. Acesso em: 11 dez. 2022.

MARCHEZAN, E., XAVIER, F.M., MICHELOTTI, L. et al. Sistemas de preparo do solo e rotação de culturas no controle de arroz vermelho em várzea. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 21., Porto Alegre, RS. 1995. Anais ... Porto Alegre: IRGA, 1995. p.151-153.

MASSEY, J. H.; WALKER, T. W.; ANDERS, M. M.; SMITH, M. C.; AVILA, L. A. Farmer adaptation of intermittent flooding using multiple-inlet rice irrigation in Mississippi. **Agricultural Water Management**, v. 146, p. 297–304, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.08.023. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377414002625?via%3Dihub. Acesso em: 22 jun. 2023.

OCKERBY, S. E.; FUKAI, S. The management of rice grown on raised beds with continuous furrow irrigation**. Field Crops Research**, v. 69, n. 3, p. 215-226, 2001. DOI: https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00140-4. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429000001404. Acesso em: 22 jun. 2023.

PARFITT, J.M.B.; WINKLER, A.S.; PINTO, M.A.B.; SILVA, J.T.; TIMM, L.C. Irrigação e drenagem para cultivo de soja e milho. In: EMYGDIO, B.M.; ROSA, A.P.S.A.; OLIVEIRA, A.C.B. (Eds.) **Cultivo de soja e milho em terras baixas do Rio Grande do Sul**. Brasília: Embrapa, 2017.

PARFITT, J.; CONCENÇO, G.; SCIVITTARO, WB; ANDRES, A. **Práticas de Manejo de Solo em Cultivos de Sequeiro em Terras Baixas**. Pelotas. Embrapa Clima Temperado. 2019. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/205050/1/CIRCULAR-202.pdf. Acesso em: 22 ago. 2023.

PETRINI, J.A,; et al. Controle do arroz vermelho (Oryza sativa L.) com o uso de culturas em rotação com arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 6., 1998, Goiânia, GO. Perspectivas para a cultura do arroz nos ecossistemas de várzeas e terras altas. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1998. 514p., p.377-380.

Pinto, M. A. B., Parfitt, J. M. B., Timm, L. C., Faria, L. C., Concenço, G., Stumpf, L., & Nörenberg, B. G. Sprinkler irrigation in lowland rice: Crop yield and its components as a function of water availability in different phenological phases**. Field Crops Research**, 248, 107714, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107714. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429019315679?via%3Dihub. Acesso em: 29 set. 2023.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/. 2020.

REIS, J.C.L. **Pastagens em Terras Baixas**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1998. 34p. (Circular Técnica, 7). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/739537/1/Digitalizar0061.pdf. Acesso em: 15 jun. 2022.

REIS, D. A., LIMA, C. L. R. D., BAMBERG, A. L. Qualidade física e frações da matéria orgânica de um Planossolo sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 51, 1623-1632. 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900062. Disponível em: https://www.scielo.br/j/pab/a/N9KbNGMp3Tc8StzRZ5vk7rD/?lang=pt. Acesso em: 15 jun. 2023.

SÁNCHEZ-LLERENA, J.; LÓPES-PIÑEIRO, A.; ALBARRÁN, A.; BECERRA, D.; RATO-NUNES, J.M. Short and long-term effects of different irrigation and tillage systems on soil properties and rice productivity under Mediterranean conditions. **European Journal of Agronomy**, v. 77, p. 101–110, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.04.005. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1161030116300673?via%3Dihub. Acesso em: 13 mai. 2023.

SARTORI, G. M. S.; MARCHEZAN, E.; DAVID, R.; CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; DONATO, D.; CARGNELUTTI FILHO, A.; SILVA, M.F. Rendimento de grãos de soja em função de sistemas de plantio e irrigação por superfície em Planossolos.

Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 50, n. 12, p. 1139–1149, 2015. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015001200003. Disponível em: https://www.scielo.br/j/pab/a/Gh9CDRrp5qZgJ4MvBNLp67G/. Acesso em 13 mai. 2023.

SCHERNER, A., SCHREIBER, F., ANDRES, A., CONCENÇO, G., MARTINS, M.B., PITOL, A. Rice Crop Rotation: A solution for weed management. In: Shah, F., Khan, Z.H., Iqbal, A. (Eds). **Rice Crop - Current Developments**. Rijeka: Index, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.75884. Disponível em: https://www.intechopen.com/chapters/60559. Acesso em: 22 ago. 2023.

SCHOENFELD, R. Sistemas de rotação arroz e soja em sucessão a plantas de cobertura em Planossolo Háplico. 2010. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SCHAFFRATH, V. R.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GONÇALVES, A. C. A. Variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas de solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32, 1369-1377, 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400001. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbcs/a/chBDxprkzj4KwCgSQxLVdbk/?lang=pt. Acesso em: 22 ago. 2023.

SILVA, J.L.S.; SANTOS, D.T.; VIEIRA, P.C.; PILLON, C.N. Integração lavoura pecuária-floresta (ILPF). Porto Alegre: Comitê Gestor Estadual da Agricultura de Baixa Emissão de Carbono, 2015. (Boletim Técnico, Plano ABC). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/82226/1/0000005512-ILPF-REGIAO-SUL.pdf. Acesso em: 23 out. 2023.

SILVEIRA, PM da; STONE, L. F. Teores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistema de preparo do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 387-394, 2001. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000200014. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbcs/a/7zPkGhk7y7XpWMDGwgydB3h/?lang=pt. Acesso em: 15 abr. 2022.

SMITH Jr., R.L. Crop and herbicide systems for red rice control in rice. Weed Science, v. 29, p.164, 1976.

SOSBAI - SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Restinga Seca, RS: SOSBAI, 2022.199p. Disponível em: https://www.sosbai.com.br/uploads/documentos/recomendacoes-tecnicas-da-pesquisa-para-o-sul-do-brasil_310.pdf. Acesso em: 12 nov. 2023.

SOSBAI – SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Farroupilha, RS: SOSBAI, 2018. 205p. Disponível em: https://sosbai.com.br/uploads/trabalhos/avaliacao-de-linhagens-de-arroz-irrigado-da-embrapa-em-ensaios-de-valor-de-cultivo-e-uso-vcu-no-rio-grande-do-sul.-safra-20202021_876.pdf. Acesso em: 12 nov. 2023.

SOUSA, R. O.; CAMARGO, A. O.; VAHL, L. C., Solos Alagados (Reações de REDOX). In: MEURER, E. J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Evangraf, 2015. p. 201-242.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 395-401, 2001. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000200015. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbcs/a/ZBcBQL7kpYJ6RtjCgnZDVFP/. Acesso em: 22 nov. 2023.

TRACY, Paul W. et al. Guidelines for producing rice using furrow irrigation (1993). 1993.

WANG, Z.; GU, D.; BEEBOUT, S.S.; ZHANG, H.; LIU, L.; YANG, J.; ZHANG, J. Effect of irrigation regime on grain yield, water productivity, and methane emissions in dry direct-seeded rice grown in raised beds with wheat straw incorporation. **The Crop Journal**, v. 6, n. 5, p. 495-508, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cj.2018.05.004.

Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214514118300783. Acesso em: 23 nov. 2023.

WHEELAN, Charles. Estatística: o que é, para que sirva, como funciona. Rio de Janeiro: Zahar, 2016.

WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.891-900, 2004. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000500011. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbcs/a/rwRvGNNk5TvzVvNqsktRCnc/. Acesso em: 23 nov. 2023.