

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA AGR99006 - DEFESA
DE TRABALHO DE CONCLUSÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Lucas Morais Cardoso

00246499

“Nitrogênio no Solo e no Arroz em Experimento de Longo Prazo sobre Sistemas Integrados de Produção Agropecuária em Treinta y Tres (Uruguai)”

PORTO ALEGRE, 15 de setembro de 2021.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA

Nitrogênio no Solo e no Arroz em Experimento de Longo Prazo sobre Sistemas Integrados de Produção Agropecuária em Treinta y Tres (Uruguai)

Lucas Morais Cardoso
00246499

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do Grau de Engenheiro Agrônomo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Supervisor de campo do Estágio: Eng. Agr. Dr. Jose Alfredo Terra

Orientadora Acadêmica do Estágio: Eng. Agr. Prof^ª. Dr. Amanda Posselt Martins

COMISSÃO DE AVALIAÇÃO

Prof. Sérgio Tomasini, Depto de Horticultura e Silvicultura (Coordenador)

Prof(a). Maitê de Moraes Vieira, Depto de Zootecnia

Prof. José Antônio Martinelli, Depto de Fitossanidade

Prof. Alberto Inda Jr., Depto de Solos

Prof. Pedro Selbach, Depto de Solos

Prof. Aldo Merotto Junior, Depto de Plantas de Lavoura

Prof. André Pich Brunes, Depto de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia

Prof(a). Lúcia Brandão Franke, Depto de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia

PORTO ALEGRE, setembro de 2021.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Janete e Fátima Morais Cardoso, por me estimular a sempre seguir em frente, estudar e mostrar que além do colo de mãe, existe muita luta, que só se pode vencer com garra e perseverança.

Ao meu pai Luiz Paulo de Castro Cardoso, por me ensinar o valor que cada centavo tem, e me incentivar a buscar o que é meu sem passar por cima de ninguém.

A minha companheira e grande amor Luiza Ariane Justo da Silva, por muitas vezes abdicar do conforto de uma noite bem dormida para que eu pudesse chegar até aqui, e acreditar que eu posso mais, além de me apoiar sempre sem questionar o porquê das minhas decisões.

Ao meu companheiro Simba, que apesar de ter entrado na minha vida ao final desse ciclo, me ensinou que o amor pode romper as fronteiras da razão.

Aos meus professores, pelos ensinamentos, paciência e humildade, que só o peso de representar uma universidade como a UFRGS proporciona.

Ao meu orientador e grande amigo de BIC Júlio Kuhn da Trindade, por me ensinar as melhores formas de alcançar o meu sonho de ser pesquisador.

A minha orientadora de estágio, sic's e bolsas Amanda Posselt Martins, por ser uma inspiração e exemplo de como trilhar uma carreira de sucesso.

Ao meu supervisor de estágio Jose Alfredo Terra que me acolheu como filho, deu todo o suporte e orientação durante a realização do estágio no Uruguai.

Ao meu amigo Guillermo Fabini que não só auxiliou nas atividades realizadas, mas também me mostrou muito da cultura magnífica do Uruguai.

Aos amigos Marcos Bueno e Gian Ghisleni pelas boas risadas, discussões, churrascos e trabalhos com agricultura digital, que infelizmente não couberam no trabalho.

A todas a equipe do INIA, em especial a Irma, o Zorro, a Cecilia, o Jean Savian, por todo o suporte, amizade, risadas e boas onversar em portunhol, “buenazzo chê”!

Aos meus colegas por serem incríveis estudantes e, assim espero, grandes profissionais!

Ao amigo Elinston Ambos Alves, por tantas noites viradas estudando, “acoxambrando” e entrando em pensamentos negativos que sempre eram convertidos em vitória.

A toda a equipe do IRGA pelos ensinamentos durante esses anos de estágio.

A todos vocês o meu... MUITO OBRIGADO!

RESUMO

Os sistemas de monocultivos de arroz irrigado associados com a alta mobilização do solo têm se mostrado insustentáveis no âmbito econômico e ambiental. Desse modo, discussões sobre a intensificação sustentável dos sistemas de produção estão aumentando. Sistemas integrados de produção agropecuária são uma forma de alcançar maiores produtividades com uso racional dos recursos naturais. Assim, este estágio curricular obrigatório foi realizado no *Instituto Nacional de Investigación Agropecuária de Treinta y Tres* no Uruguai, na sede e na estação experimental *Paso de la Laguna* no experimento de rotações arroz-pastagem e outros cultivos, com o objetivo de demonstrar, avaliar e fixar os conhecimentos adquiridos durante a experiência. As principais atividades realizadas foram amostragens a campo, processamento de amostras em laboratório e de dados remotamente, em sub-experimento de mineralização e eficiência de uso de nitrogênio.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição dos tratamentos do experimento de rotações da estação experimental Paso de la Laguna (Treinta y Tres - Uruguai).....	17
Tabela 2. Cronograma de atividades realizadas durante o estágio – INIA Treinta y Tres.	20
Tabela 3. Produtividade e Eficiência Agronomia de N nos sistemas acompanhados em diferentes doses de N.....	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema dos experimentos de mineralização e eficiência agronômica de N	19
Figura 2. Croqui das parcelas experimentais acompanhadas	20
Figura 3. Esquema da parcela, experimentos e metodologia de troca de tubos de 100 mm por coleta para a medição da mineralização na solução do solo em casa sistema acompanhado	21
Figura 4. Atividades de processamento de amostras na sede do INIA - Treinta y Tres.....	24
Figura 5. Produtividade de arroz nas diferentes rotações em função da dose de N aplicada via adubação	27
Figura 6. Eficiência agronômica de uso do N via adubação.....	28

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E SOCIOECONÔMICO	8
2.1. Topografia, clima e solos	8
2.2. Aspectos socioeconômicos	8
3. CARACTERIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO DE REALIZAÇÃO DO TRABALHO	9
4. REFERENCIAL TEÓRICO	10
4.1. O Arroz na região Platina	10
4.2. Sistemas integrados em terras baixas.....	12
4.3. Inclusão do componente animal nos sistemas integrados de produção agropecuária	13
4.4. Nitrogênio em sistemas integrados de produção agropecuária.....	15
5. ATIVIDADES REALIZADAS	16
5.1. Experimento “ <i>Rotações arroz-pastagem e outros cultivos de longo prazo</i> ”	16
5.2. Caracterização dos Experimentos do Projeto “ <i>Eficiência de Uso da Água e Nutrientes</i> ” e cronograma de atividades	18
5.2.1. Experimento de mineralização de N.....	18
5.2.2. Experimento de Eficiência agrônômica de N	19
5.3. Atividade 1: Avaliações a campo	20
5.3.1. Amostragens no experimento de mineralização de N.....	21
5.3.2. Amostragens do experimento de Eficiência Agrônômica de Nitrogênio.....	22
5.4. Atividade 2: Processamento das amostras	23
5.5. Atividade 3: Processamento de dados remotamente.....	24
5.5.1. Produtividade do Arroz nos diferentes sistemas.....	25
5.5.2. Resultados parciais de Eficiência Agrônômica de N	27
6. DISCUSSÃO	29
6.1. Observações feitas sobre as atividades 1 e 2	29
6.2. Observações sobre os resultados da atividade 3.	31
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1. INTRODUÇÃO

O arroz é o segundo cereal mais consumido no mundo, perdendo apenas para o trigo. O Brasil é o maior produtor de arroz da América Latina, seguido do Uruguai, Argentina e Paraguai. Nesse sentido, a Região do Rio da Prata, representada pelos estados do Sul do Brasil (RS e SC) e os demais países citados, é responsável por alimentar toda a população da América com o grão (SOSBAI, 2018).

Contudo, para que essa região de área relativamente pequena, pudesse alcançar essa capacidade produtiva, foram desenvolvidos e aprimorados programas típicos de melhoramento, que objetivaram a maior produtividade por área, como no caso do “*Projeto 10*” desenvolvido no Brasil, cujo objetivo era elevar a produtividade média do RS para 10 Mg.ha⁻¹. Para isso foram estimuladas tecnologias de melhoramento genético, como a *Clearfield*, por exemplo (MENEZES et al., 2012). Essas tecnologias, por sua vez, acarretaram no aumento de áreas com monocultivos de arroz, na dependência de insumos externos, impactos nos ecossistemas pela alta mobilização do solo, a incidência de plantas daninhas, pragas e doenças nas lavouras (LIMA et al., 2020; IRGA, 2020; PINTO et al., 2004). Isso aumentou a fragilidade econômica dos produtores rurais e dos sistemas orizícolas. Tendo em vista que além do melhoramento genético para maiores produtividades, todo o agroecossistema necessita ser melhorado em conjunto.

Dessa forma, os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) são uma alternativa sustentável ponto de vista ambiental, econômica e social, que podem aumentar as produtividades das lavouras arroseiras e ainda diversificar a renda do produtor rural (CARVALHO et al., 2010). Além disso, quando o arroz está inserido em um SIPA, o alto aporte de resíduos, semeadura direta, a ciclagem de nutrientes e o acúmulo de matéria orgânica promovidos pela rotação de culturas, com cultivos sucessivos sob pastejo, podem resultar em ganhos ou ainda na diminuição dos prejuízos. No sistema solo-planta-animal-atmosfera, os nutrientes podem ser aproveitados em seu máximo potencial (DENARDIN et al., 2020). Contudo, esses sistemas complexos necessitam de maior entendimento.

Tendo isso em vista, as atividades do estágio curricular obrigatório, foram realizadas no *Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria* (INIA) no município de *Treinta y Três* - Uruguai, e o presente trabalho de conclusão de curso tem por objetivo demonstrar e avaliar as principais atividades realizadas em estudo realizado em um experimento de longo prazo, de estudo de rotações arroseiras e outros cultivos em terras baixas na Unidade Experimental *Paso de la Laguna* (UEPL).

2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E SOCIOECONÔMICO

A caracterização será resumida ao município e à região, tendo em vista a atuação da instituição em que o estágio foi realizado.

2.1. Topografia, clima e solos

O município de Treinta y Tres é situado na confluência do rio Olimar e do arroio Yerval, na região leste do Uruguai. Situado a 330 km da capital do país (Montevidéu) e a 680 km de Porto Alegre. Além disso o município é a capital departamental do departamento de Treinta y Tres. A altitude do município varia de 14 a 350 metros. O clima é caracterizado como subtropical úmido, Cfa segundo a escala de Köppen-Gelger. A temperatura média anual raramente é menor do que 1°C ou maior do que 34°C, e as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, sendo que a precipitação média é de 119mm no mês mais chuvoso (fevereiro) e de 87mm no período menos chuvoso (novembro).

Aproximadamente 75% das áreas da região são de pastagens e 11% são de lavouras. Os tipos de solos predominantes, segundo sistema de mapeamento local, são os correspondentes à unidade de mapeamento “*La Charqueada*” nas áreas planas e que são caracterizadas pelo cultivo de arroz e pecuária do município. Esses solos seriam equivalentes aos Planossolos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (STRECK et al., 2018). Além disso, mais ao norte do município na unidade de mapeamento “*Vergara*”, são encontrados Argissolos (STRECK et al., 2018) em regiões de coxilhas com uso mais para a pecuária e mais recentemente para o cultivo de soja.

2.2. Aspectos socioeconômicos

A população total do departamento de “*Treinta y Tres*” é de 44.134 habitantes. Desse total, apenas 6,6% é tipicamente rural, restando à maior parte da população a habitação em zonas urbanas. Ainda, um total de 14 mil pessoas são contratadas sazonalmente para atividades no setor agropecuário. Da população total, 59% e 37% apresenta 50 e 60 anos de idade ou mais, respectivamente. Esse perfil de população mais idosa é encontrado na maioria do Uruguai. Desta forma, além de investimentos em educação para a população mais jovem, o país direciona grande parte dos recursos para a saúde e a melhoria na qualidade de vida para essa porção da população (INE, 2011).

Segundo o MGAP (2011), 872 mil hectares são utilizados para o setor agropecuário. Desses, a área de 812 mil hectares é explorada com 590 mil cabeças de gado, 622 mil hectares são explorados com 326 mil ovinos. Assim em 71% da área total também há a inclusão de ovinos, que em muitos locais são manejados em conjunto com o gado bovino. Dessa área, a maior parte da forragem advém da exploração do campo nativo, restando apenas 51 mil hectares em que são semeadas pastagens anuais e perenes. Ainda em torno de 60% dessa pastagem cultivada foi com espécies perenes semeadas entre 1 e 3 anos da realização do censo. E 12 mil hectares são semeadas forrageiras anuais. Além disso em 15% (128 mil ha) da área total ocorre o cultivo de arroz como cultura principal, isso faz do departamento o maior produtor de arroz do país.

3. CARACTERIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO DE REALIZAÇÃO DO TRABALHO

O “*Instituto Fitotécnico y Semillero Nacional*” do Uruguai (Uy) foi fundado em 1914 pelo governo federal do país, até 1957 foi dirigido pelo Dr. Alberto Boerger (melhorista), que foi incumbido de implantar um programa de melhoramento genético vegetal autenticamente nacional. Como o país tem em sua história típica qualidade no setor pecuário, primeiramente o programa de melhoramento foi dedicado às culturas da aveia, cevada, milho, alfafa, linho e trigo. Entretanto, em 1961, tendo em vista a necessidade de ampliar a área de pesquisa, foi criado o “*Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger*” (CIAAB). Este era concentrado na estação experimental “*La Estanzuela*”. Na década de 1970, foi criado Sistema Nacional de Investigação Agrícola e com ele também foram criadas estações experimentais agrícolas (EEA) em outras regiões do país, entre elas a atual EEA “*INIA-Treinta y Tres*”. Em 1989, todo o sistema foi reorganizado pela lei nº 16.065 e foi criado o “*Instituto Nacional de Investigación Agropecuária*” (INIA) que integrou todas as EEA atualmente conhecidas no país.

O INIA – “*Treinta y Tres*” conta com 80 funcionários no total. Estes atuam em diferentes áreas de conhecimento, contempladas por três áreas de atuação divididas nas três EEA, sendo elas: a EEA “*Palo a Pique*” (zona alta) com ênfase em pecuária e cultivos de sequeiro; a EEA “*Semillas*” (zona suave ondulada) com estudos em melhoramento genético principalmente de trigo, sorgo e soja; e a EEA “*Paso de la Laguna*” (zona baixa) com pesquisas em SIPA, melhoramento genético de arroz, gado, agricultura de precisão manejo de pragas, doenças e plantas daninhas, irrigação, qualidade da água, fertilidade e solos. Sendo reconhecida internacionalmente por suas pesquisas.

O experimento relacionado aos SIPA que estuda rotações arroz/pastagens é precursor na América Latina e aumentou o entendimento, a adoção e a lucratividade dos produtores de

arroz/pecuaristas do Uruguai, pois a difusão das tecnologias geradas nas EEA ocorre por meio de dias de campo, jornadas, boletins técnicos, grupos de trabalho. As demandas, por sua vez, chegam aos pesquisadores por meio de conselhos regionais.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. O Arroz na região Platina

A origem certa do arroz cultivado na América Latina levanta dúvidas entre os pesquisadores, uma hipótese é de que o surgimento do gênero *Oryza* tenha se dado junto a outras gramíneas no período *Terciário* no sudeste asiático e tenha sido disseminado para os outros continentes no trato digestivo de aves migratórias, (ROHDE, 1995). A boa adaptabilidade do arroz aos mais diversos ecossistemas, condições edafoclimáticas, tipos de manejos e métodos de seleção, faz com que possa ser cultivado tanto em sequeiro (com menores produtividades) quanto irrigado, possibilitando alta diversidade de ecótipos (DE OLIVEIRA, 2006). No entanto, o melhoramento genético ao longo dos anos resultou em uma base estreita, que aumentou a vulnerabilidade genética dos cultivares (RANGEL et al., 1996). Isso fez com que, nos últimos anos, fossem pensados programas de melhoramento genético, que ampliassem a variabilidade genética dos cultivares.

O arroz, depois do trigo, é o segundo cereal mais cultivado no mundo. Também compõe a base alimentar de aproximadamente 37,5% da população mundial. A área com cultivo de arroz no mundo ultrapassa os 160 milhões de hectares (ha). A maior parte das áreas está na Ásia, que também apresenta a maior produção. Apesar de ser um produto amplamente consumido no mundo, o comércio internacional desse cereal é baixo, devido ao alto consumo interno (SOSBAI, 2018). Todavia, países do Mercosul como o Brasil (maior produtor fora da Ásia), o Uruguai, a Argentina e o Paraguai são os maiores produtores de arroz da América do Sul, em ordem decrescente (SOSBAI, 2018). A área plantada no Brasil na safra 2019/20 era de 1,67 milhões de hectares. Isso representa redução de 40% em comparação aos 10 anos anteriores. Contudo, a produção total nessa safra foi de 11,2 milhões de toneladas do grão, ou seja, ocorreu redução de apenas 4% no mesmo período. Isto demonstra o aumento de produtividade (CONAB, 2021). No Uruguai, a área de cultivo de arroz é inferior à cultivada com a cultura na Argentina e no Paraguai. Entretanto, a produção total de arroz do Uruguai superou em 10 mil toneladas a produção argentina e em 130 mil toneladas a produção paraguaia na safra 2019/20 (FAO, 2021).

No Brasil, os estados de maior produção de arroz são Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC), com 70% e 14% da produção total e com produtividades de 8,40 Mg.ha⁻¹ e 8,39 Mg.ha⁻¹ na safra 2019/20, respectivamente (IRGA/DATER, 2020; EPAGRI, 2021). Na mesma safra, o Uruguai apresentou uma produtividade de 8,62 Mg.ha⁻¹ (MGAP-DIEA, 2020), na Argentina de 6,60 Mg.ha⁻¹ (MADYP, 2021) e no Paraguai de 6,32 Mg.ha⁻¹ (FCA/UNA, 2020). Essa diferença observada nas produtividades pode ser associada à forma com que cada país estimula o desenvolvimento tecnológico.

O Instituto Riograndense do Arroz (IRGA) em conjunto com instituições internacionais, nacionais, extensionistas e orizicultores desenvolveu o “*Projeto 10*” na década de 2000. O projeto, atuou na mudança da difusão tecnológica, atendendo às peculiaridades de cada região do RS. Atuou em diferentes áreas como, ampliação dos bancos de germoplasma, desenvolvimento de novos cultivares, inclusive com a adoção da tecnologia “*Clearfield*®” estímulo à mecanização, adoção do cultivo mínimo, adequação da época de semeadura, densidade de plantas e adubação. Como resultado a produtividade aumentou em 5 Mg.ha⁻¹ na primeira década do século XXI Isso motivou a adoção dessas tecnologias em SC e em outros países do cone sul da América do Sul. (MENEZES et al., 2012). Entretanto, 60% das áreas arrozeiras são arrendadas, e a maior parte dos custos (~45%) são com insumos, água, agroquímicos e arrendamento (CONAB, 2021; IRGA, 2020). A relação entre a alta dependência de N com a escolha do cultivar de arroz compõe fator limitante da produtividade da lavoura (LIMA et al., 2020),

A tecnologia *Clearfield*, de certa forma, acarretou no uso excessivo dos herbicidas do grupo químico das *imidazolinonas*. A aplicação de um único ingrediente ativo, sucessivamente, em doses acima da recomendação, aumentou a pressão de seleção a plantas resistentes, como o arroz vermelho (*O. sativa*) e o capim-arroz (*Echinochloa sp.*). Assim, o manejo integrado de plantas daninhas e adoção de práticas conservacionistas como rotação de culturas, cultivos sucessivos, adoção da pecuária e sistema pré-germinado aumentaram em importância (PINTO et al., 2004).

Nesse sentido, é evidente que a produtividade de arroz é afetada por diversos fatores como precipitação, temperatura, (MAHMOOD et al., 2012), disponibilidade de água, o que na maioria das lavouras do globo aumenta os custos de produção, (ISHFAQ et al., 2021), o tipo de variedade empregada no cultivo, e seus respectivos ciclos (BOBIHOE; JUMAKIR; ENDRIZAL, 2021; STEINMETZ et al., 2021), fertilização química e orgânica do solo com N, P₂O₅ e K₂O, diversidade de microrganismos. (WANG et al., 2021). Mesmo assim, o cultivo mínimo ou a semeadura semi-direta + convencional em linha, está presente em 89% das áreas, enquanto o plantio direto é realizado em apenas 5,2% (IRGA, 2020). Assim, o sistema mais comum no RS é caracterizado

tradicionalmente por monocultivos de arroz, práticas de revolvimento intenso do solo e adoção praticamente nula de manejos conservacionistas, resultando em baixa eficiência de uso do solo (SANTOS et al., 2013).

Em contrapartida, no Uruguai o arroz é produzido comercialmente no país há aproximadamente 90 anos, e o sistema de cultivo mais comum é de 3 a 4 anos de pecuária para 2 anos de arroz (BERRETTA et al., 2000). Esse perfil também era observado na metade sul do RS até o início do século XXI. (NABINGER et al., 2000). A diferença é que no RS esse perfil diminuiu, enquanto no país vizinho a adoção de tecnologias associadas àquelas do “*Projeto 10*” não diminuiu a exploração pecuária (MACEDO et al., 2021). Assim, a fertilidade natural dos solos aumentou, junto da diversificação de renda (COURDIN & HERNÁNDEZ, 2013; PITTELKOW et al., 2016). Contudo, produtividades muito elevadas podem interferir em indicadores ambientais e de eficiência, mesmo em sistemas integrados, necessitando assim um maior entendimento sobre as estratégias de manejo (TSENG et al., 2020).

Porém, mesmo com alto aporte de resíduos o sistema arroz-pousio não resulta em balanço positivo de C no solo. Assim, as práticas conservacionistas, proporcionam melhor aproveitamento dos nutrientes e melhores condições químicas, físicas e biológicas dos solos. Como, por exemplo, as rotações (arroz-soja-milho-sorgo), sucessão com pastagens perenes ou anuais com gramíneas e leguminosas que resultam em balanço positivo de C no solo a longo prazo (ANGHINONI et al., 2013; DENARDIN et al., 2019; MARTINS et al., 2017).

4.2. Sistemas integrados em terras baixas

Por definição os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) têm como base as relações entre solo-planta-animal-atmosfera. Quando exploradas, as interações sinérgicas e as propriedades emergentes, de forma racional, em diferentes escalas no espaço e no tempo, resultam em ganhos nos mais diversos agroecossistemas (DE MORAIS et al., 2014). Os SIPA, ainda, representam a intensificação sustentável dos sistemas produtivos, por melhorar o aproveitamento dos recursos no espaço e no tempo. São também alternativa responsável, do ponto de vista ambiental, social e econômico, atuando assim como um elo entre os produtores rurais, o meio ambiente e a sociedade, dando visibilidade e estabilidade, além de garantir produto de qualidade. Esses sistemas podem integrar lavoura-pecuária (ILP), pecuária-floresta (IPF), lavoura-floresta (ILF), ou ainda as três práticas com a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) (BUNGENSTAB et al., 2019).

A prática de integração lavoura-pecuária ou agropastoril, faz parte dos SIPAS e aumenta a diversidade de espécies, promove a ciclagem de nutrientes, melhora aspectos físicos do solo, como aumento do estoque de carbono e nitrogênio, além de estabilizar a matéria orgânica já a curto prazo (MARTINS et al., 2017). Deste modo, faz com que a propriedade agrícola seja menos vulnerável a variações climáticas e a flutuações de mercado (CARVALHO et al., 2021). A integração atua também no desenvolvimento econômico por promover a rotação de culturas, cultivos sucessivos e a produção de carne. Para tanto, integra também técnicas, de semeadura direta, alto aporte de resíduos, utilização de insumos de qualidade, melhoramento genético de plantas e animais, manejo adequado de pastagem, de pastejo, adubação de sistema, recuperação de áreas degradadas, principalmente de pastagens, (CARVALHO et al., 2004; MARTINS et al., 2015).

Esses sistemas eram utilizados em todo o mundo, mas com o aumento da especialização da agricultura proporcionado pela *Revolução Verde*, acabaram caindo em desuso. Atualmente, vêm retomando destaque, pois a pecuária e agricultura quando dissociadas, mostram-se insustentáveis. Principalmente, pelas evidências da insustentabilidade econômica da atividade pecuária extensiva e as emissões de gases de efeito estufa que a prática, quando intensiva, pode gerar. E pelos monocultivos praticados na agricultura, em conjunto com a tecnologia de insumos, que além de gerar vulnerabilidade econômica, são insustentáveis pela baixa diversidade de espécies e impactos ambientais (MARTINS et al., 2015).

4.3. Inclusão do componente animal nos sistemas integrados de produção agropecuária

A região dos Pampas ou dos Campos, também denominada região do *Rio de la Plata* composta pelo extremo sul do Brasil, Uruguai e Argentina, tem indícios da presença de grandes pastadores desde 8,5 mil anos atrás. Mas foi apenas a partir do século XVII, com a introdução do gado na região das Missões do RS, e com a colonização de toda a região por espanhóis e portugueses, que se deu início à pecuária como conhecemos (PILLAR et al., 2009; SILVERMAN & ISBELL, 2008).

A cultura do arroz foi inserida nas áreas de pecuária, apenas nas terras baixas. Porém, com o passar do tempo, o cultivo de arroz foi tomando o espaço da pecuária devido a geração de capital para o produtor, restando à pecuária importância secundária, com menor investimento, eficiência produtiva e tecnologia, principalmente na qualidade da pastagem, pois os animais se alimentavam das restebas da lavoura de arroz. (ANGHINONI et al., 2013). Essa diminuição da integração da lavoura com a pecuária ocorreu em todo o mundo, à medida que os sistemas de produção se

tornaram cada vez mais especializados (GARRET et al., 2017). Em levantamento realizado pelo IRGA, foi constatado que $\approx 70\%$ dos solos de terras baixas do RS apresentam teores de matéria orgânica $\leq 2,5\%$ (classe baixa). Ainda que isso representasse um aumento no ano de 2008, isso não foi associado às práticas de manejo adotadas. A hipótese mais aceita, era que novas áreas com maior fertilidade natural estavam sendo cultivadas, (BOENI et al., 2010). Por essas razões, esse tipo de manejo e dissociação da lavoura com a pecuária se torna insustentável, trazendo impactos negativos ao meio ambiente em todos os aspectos (i.e. água, solo, atmosfera, biodiversidade), necessitando assim maior entendimento da complexidade do componente animal, quando integrado à agricultura (CARVALHO et al., 2010).

Os SIPA's aumentam a produção de grãos e a matéria orgânica do solo, além de melhorar propriedades físicas do solo como a infiltração de água, a qualidade da água, entre outras melhorias aos agroecossistemas (CARMONA et al., 2016; FRANZLUEBBERS., et al, 2014). Além disso, quando manejada corretamente a oferta de forragem para os animais, ou seja, com adequada carga animal por unidade de área, esse aumento de biomassa, faz com que diminua a ocorrência de plantas daninhas nos sistemas, surtindo efeitos, inclusive, no banco de sementes (SCHUSTER et al., 2018).

O pastoreio estimula o crescimento vegetal e o enraizamento das plantas por estimular a fotossíntese, manutenção da água no solo, aumento do ciclo médio das plantas forrageiras. Enquanto a exportação de nutrientes pelos animais é baixa, boa parte retorna nas fezes e urina dos animais, ocasionando assim maiores teores de nutrientes nos tecidos vegetais, principalmente N (MCNAUGHTON, 1985). Deste modo, a inclusão do componente animal nos sistemas arrozeiros em terras baixas promove ainda a melhoria na disponibilidade de nutrientes logo após o alagamento, como N, fósforo (P_2O_5), potássio (K_2O) e cálcio (Ca). (CARLOS et al., 2020).

A pastagem, *per se* é ferramenta fundamental na busca dessas características, por promover o controle da erosão, já que reduz a energia do impacto das gotas de chuva sobre o solo. Atua também na melhoria da estruturação do solo pelo aumento da quantidade e qualidade dos agregados por fixar o carbono atmosférico no solo pelo resíduo da parte aérea e pela produção de exsudatos radiculares, que atuarão na maior estabilidade dos agregados, promovendo a ciclagem de nutrientes. Além de quebrar do ciclo de doenças e pragas quando bem manejada (DIEKOW et al., 2005; KUNRATH, 2015).

Deste modo, os sistemas que aportam mais C e N aos sistemas de cultivo de arroz em terras baixas já em curto prazo são os que têm maior proximidade com o ambiente natural. Práticas de manejo como o plantio direto, a rotação de culturas e os cultivos sucessivos podem não ser suficientes para a maior sustentabilidade. A alta diversidade de espécies pode ser um ponto chave

para os melhores resultados de produção de matéria seca (MS), das pastagens, maior C e N na matéria orgânica (MO) particulada, menor biomassa microbiana do solo, porém mais ativa, resultando também em maior atividade enzimática (GREGORICH et al., 1994; KIRSCHENMANN, 2007; MARTINS et al., 2017). Conseqüentemente, quanto maior o tempo de SIPA em uma área e maior a diversidade de espécies, menor será a resposta do arroz à adubação, ou seja, menores doses serão necessárias para uma mesma resposta da cultura, em termos de rendimento de grãos (CARMONA et al., 2016).

4.4. Nitrogênio em sistemas integrados de produção agropecuária

O N é um dos principais constituintes da clorofila. Desse modo, para que o arroz tenha maior formação de perfilhos e maior diferenciação de panículas nos estádios fenológicos V3 e R0, respectivamente na escala de Counce et al. (2000) deve haver disponibilidade abundante de N no solo (SOSBAI, 2018). Esse nutriente tem impacto direto nos componentes de rendimento, tais como número de panículas (estádio S0 a R4), número de espiguetas por panícula (estádio R0 a R4), grãos por panícula (estádio R4 a R6) e peso dos grãos (estádio R4 a R6), além de influenciar na esterilidade de espiguetas, tendo sua eficiência diferente entre estádios de aplicação, duração de ciclos e genótipos de arroz (Fageria et al., 2007; SOSBAI, 2018). A deficiência de N pode promover também o aumento de hormônios inibidores de crescimento e a redução de hormônios promotores de crescimento, afetando assim a produtividade (XIONG et al., 2018). Entretanto, as plantas de arroz possuem rápida capacidade de absorção de N, e os solos alagados possuem elevada capacidade de manter o N no sistema (CASSMAN et al., 1998).

Em ambientes reduzidos por longos períodos, a decomposição da MO e as perdas de N são baixas. Porém quando em períodos alternados de alagamento/drenagem, essas perdas aumentam (REDDY & PARTICK Jr, 1974). Porém, no perfil de um solo alagado, forma-se um gradiente de concentração de O_2 , com uma camada superficial e a rizosfera oxidada (de poucos milímetros) e uma camada reduzida em profundidade, com concentração de O_2 próxima de zero na maior parte do solo. Deste modo, ocorrem microrganismos aeróbicos na rizosfera do arroz e na camada superficial e a predominância de microrganismos anaeróbicos na maior parte do solo (SOUZA et al., 2015). Ainda, segundo Souza et al. (2015), as maiores perdas de N em solos alagados ocorrem por desnitrificação do nitrato mineralizado em condições aeróbicas, na forma de N_2O e N_2 .

Resíduos que têm baixa relação C:N apresentam decomposição mais rápida, ou seja, além de não serem imobilizados pelos microrganismos, são mineralizados no solo mais facilmente. Como as leguminosas normalmente apresentam relação C:N <30:1, em sistemas com rotação

arroz-soja em sistema de plantio direto, a liberação de N dos resíduos da safra anterior pode melhorar a absorção por parte do arroz, resultando na necessidade de menores doses de adubo nitrogenado para o arroz (ANDERS et al., 2004).

A eficiência ~~de~~ agrônômica de nitrogênio (EAN) pode ser definida como a capacidade de conversão da unidade de N aplicado em biomassa de parte aérea para forrageiras e biomassa de grãos produzidos para plantas de lavoura. É, também, a capacidade de capturar o N no ambiente, convertê-lo em produção de biomassa e aloca-lo no grão (ELY, 2020).

Em curto prazo, o arroz inserido em SIPA responde à adubação nitrogenada, com ganhos de até 17% em comparação ao sistema convencional, principalmente pela maior proporção de N-lábil na MO do solo. Nesse contexto o maior limitador da produtividade do arroz será o N, pois os microrganismos apresentam maior capacidade de absorção desse nutriente do que as raízes do arroz.

O alto aporte de resíduos com relação C:N mais alta, promovido pela inclusão de gramíneas no período hibernal, favorece imobilização momentânea de N. Esse N-não lábil faz com que a produção de MS do arroz seja menor, mas isso não significa menores rendimentos. Pois essa imobilização temporária faz com que as perdas de N por lixiviação e/ou desnitrificação sejam menores, podendo nesse momento o N ser suprido via adubação mineral. Entretanto, com a mineralização daquele N, antes imobilizado, o arroz pode acessá-lo em outros estádios como no R0, segundo a escalade Counce et al, (2020). O que pode resultar em produtividades maiores e EAN melhor em comparação ao sistema convencional (DENARDIN et al., 2020).

5. ATIVIDADES REALIZADAS

O estágio foi realizado durante os meses de janeiro e fevereiro de 2020. As atividades realizadas foram de amostragem e análise e processamento de amostras. Durante a maior parte do período as atividades foram relacionadas ao experimento de mestrado do estudante Guillermo Fabini. O tema principal do experimento era relacionado ao “*Projeto eficiência de uso da água e nutrientes*”. Em que o principal estudo sobre a eficiência de uso do nitrogênio.

5.1. Experimento “*Rotações arroz-pastagem e outros cultivos de longo prazo*”

A estação experimental “*Paso de la laguna*”, situada no município de Treinta y Tres (33°15' S, 54°10' O) no Uruguai, possui área de 399 hectares dos quais 250 são utilizados para pesquisas com arroz. O solo da estação é classificado como Argialboll (DURÁN et al., 2006),

porém mesmo não sendo recomendada a classificação de um solo com base em outro sistema de classificação as características que esse tipo de solo apresenta se assemelham muito ao Planossolo Háptico eutrófico (Streck et al., 2018).

O experimento de longa duração denominado “Rotações arroz-pastagem e outros cultivos de longo prazo” (Tabela 1) foi instalado em 2012, em uma área de aproximadamente 15 hectares. O objetivo principal é avaliar a sustentabilidade produtiva, econômica e ambiental do arroz em interação com outras plantas, em sistemas de intensidade variável. Deste modo, estudantes de diversas áreas de conhecimento pesquisam o cultivo de arroz em sucessão com pastagens anuais e perenes e rotação com soja e/ou sorgo no período de verão, sendo possível assim monitorar além da produtividade desses cultivos, efeitos residuais de agroquímicos, dinâmica de pragas e doenças, necessidades de fertilizantes, balanço de nutrientes, emissão de gases de efeito estufa e biodiversidade.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos do experimento de rotações da estação experimental Paso de la Laguna (Treinta y Tres - Uruguai)

Rotação	Ano 1		Ano 2		Ano 3		Ano 4		Ano 5		Ano 6	
	P/V	O/I	P/V	O/I	P/V	O/I	P/V	O/I	P/V	O/I	P/V	O/I
1	Arroz	TA										
2	Arroz 1	Az	Soja	TA	Arroz 2	TA	Sorgo	TA				
3	Arroz	Az + TV										
4	Arroz 1	TA	Arroz 2	TB + L + F								
5	Arroz 1	Az	Soja 1	Az	Soja 2	TA	Arroz 2	Az + TV				
6	Arroz	Az	Soja	TA								

Rotação 1=Arroz-contínuo; Rotação 2=Arroz-cultivos; Rotação 3=Arroz-pastagem perene curta; Rotação 4=Arroz-pastagem perene longa; Rotação 5=Arroz-soja-pastagem perene curta; Rotação 6=Arroz-soja. Legenda: TA=Trevo alexandrino; Az=Azevém; TV=Trevo vermelho; TB=Trevo branco; L= Lotus corniculatus; F= festuca. Fonte: Adaptado de Terra et al. (2014).

1-Arroz contínuo: cultivo de arroz (primavera-verão) e pastagem anual com *Trifolium alexandrinum* (outono-inverno);

2-Arroz cultivos: cultivo de arroz (primavera-verão) e pastagem anual com *L. multiflorum* (outono-inverno) / soja (primavera-verão) e pastagem anual com *T. alexandrino* (outono-inverno) / arroz (primavera-verão) e pastagem anual com *T. alexandrino* (outono-inverno) / sorgo (primavera-verão) e pastagem anual com *T. alexandrino* (outono-inverno);

3-Arroz – pastagem perene curta: cultivo de arroz (primavera-verão) e pastagem bianual com *L. multiflorum* + *T. pratense* (por duas safras);

4-Arroz - pastagem perene longa: cultivo de arroz (primavera-verão) e pastagem anual com *T. alexandrino* (outono-inverno) / arroz (primavera-verão) e pastagem perene com *T. repens* + *Lotus corniculatus* + *Festuca sp.* por três safras;

5-Arroz - soja – pastagem perene curta: cultivo de arroz (primavera-verão) e pastagem anual com *L. multiflorum* (outono-inverno) / soja (primavera-verão) e pastagem anual com *L. multiflorum* (outono-inverno) / soja (primavera-verão) e pastagem anual com *T. alexandrino* (outono-inverno) / arroz (primavera-verão) e pastagem bianual com *L. multiflorum* + *T. pratense* (por duas safras);

6-Arroz – soja: cultivo de arroz (primavera-verão) e pastagem anual com *Lolium multiflorum* (outono-inverno) / soja (primavera-verão) e pastagem anual com *T. alexandrino* (outono-inverno).

5.2. Caracterização dos Experimentos do Projeto “Eficiência de Uso da Água e Nutrientes” e cronograma de atividades

Os experimentos de mestrado do estudante Guillermo Fabini, são um sub-experimento do experimento “Rotações pastagem-arroz e outros cultivos de longo prazo”. 5.2.1.

Foram selecionadas as rotações 1, 4 e 6 (Tabela 1). Além desses tratamentos, nas mensurações foram utilizadas as parcelas de um experimento lindeiro, como testemunha que foi denominado de “retorno”, pois recebeu arroz após 3 anos de regeneração natural do campo com vegetação espontânea sem a semeadura de leguminosas. Esse manejo foi considerado como testemunha, por ser o mais comum no Uruguai. No “retorno”, além da regeneração natural do campo, na safra de verão 2018/19, houve preparo do solo, adubação e calagem antes de semeadura do arroz.

5.2.1. Experimento de mineralização de N

Em cada sistema foi estudada a resposta do arroz a diferentes doses de N em dois níveis (0 e 100 kg de N/ha). Esse experimento teve três 3 repetições dentro do experimento principal medindo 4 x16 m. Assim, essas doses foram sorteadas, sendo que nos experimentos na rotação 1 e no arroz de segundo ano (Az2) da rotação 4 a parcela com 0N foi disposta sobre um experimento antecessor sem aplicação de N (Figura 1).

Figura 1. Esquema dos experimentos de mineralização e eficiência agrônômica de N

Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3	
P1 R6-Az	50	P25 R1-Az	100	P45 R4-Az2	150
	0		0		50
	150		150		0
	100		50		100
P8 R4-Az1	100	P35 R4-Az2	50	P47 R6-Az	150
	0		0		50
	50		100		100
	150		150		0
P14 R1-Az	100	P36 R6-Az	50	P49 R1-Az	50
	0		0		0
	150		100		150
	50		150		100
P18 R4-Az2	150	P39 R4-Az1	50	P52 R4-Az1	100
	50		0		150
	0		150		50
	100		100		0
Retorno	50	Retorno	100	Retorno	100
	0		0		50
	100		50		150
	150		150		0

P = Parcela experimental e o número que acompanha P é a identificação da subparcela dentro do experimento maior. As parcelas AZUIS e as AMARELAS representam o experimento (MIN-N) enquanto as parcelas de AZUIS representam o sub- experimento de EAN. Fonte: Guillermo Fabini (adaptado).

5.2.2. Experimento de Eficiência agrônômica de N

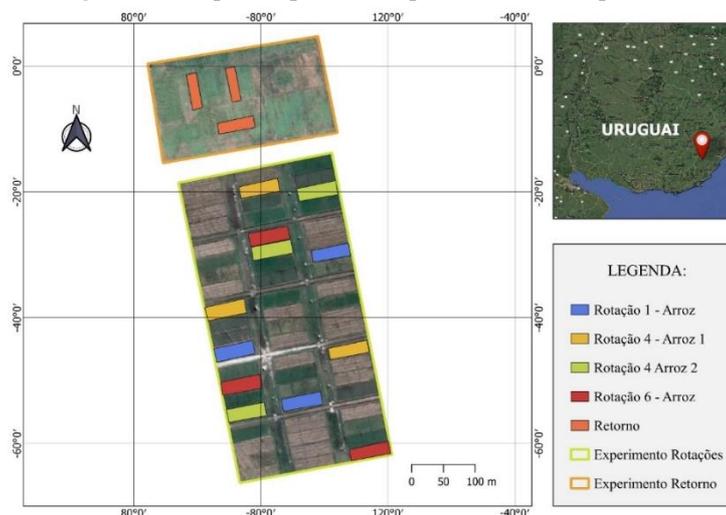
Nas mesmas parcelas do “*Experimento de mineralização de N*” foram feitas mais duas parcelas, sendo uma com subdose de N (50 kg de N/ha) e outra com superdose de N (150 kg de N/ha) (Figura 1).

Nesse experimento foi adicionada também, a fase de arroz de segundo ano consecutivo com cultivo de arroz (Az2) da rotação 4 (Arroz - pastagem perene longa, R4-Az2).

Para o restante foi feito o mesmo desenho experimental com cinco tipos de pasto antecessor e quatro doses de N. Todo o manejo da cultura do arroz foi feito pelos técnicos do INIA. Assim atividades corriqueiras do cultivo de arroz, como controle de irrigação, manejo fitossanitário, adubação etc, não foram realizados durante o estágio.

Ambos experimentos/atividades (mineralização e EAN) ocorreram simultaneamente e nas mesmas áreas experimentais (Figura 2).

Figura 2. Croqui das parcelas experimentais acompanhadas



Fonte: O autor.

As avaliações seguiram um cronograma pré-estabelecido pelo mestrando (Tabela 2), em que durante maior parte do tempo foram processadas amostras de coletas realizadas antes da chegada ao local de estágio, e durante a experiência e a cada 15 dias acompanhava as amostragens a campo. Deste modo a descrição das atividades principais será dividida em três etapas, sendo elas: avaliações a campo, processamento de amostras em laboratório e processamento de dados remotamente. Além dessas atividades, no dia em que o estudante tinha livre, ou seja, quando haviam amostras de tecido vegetal para moer, era permitido a realização visitas, eventuais auxílios ao andamento de outros experimentos.

Tabela 2. Cronograma de atividades realizadas durante o estágio – INIA Treinta y Tres.

Atividade da semana	Dias da semana				
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Com coleta	PTV	PMA	PAS	AC	PAS
Sem coleta	PTV	MTV	Livre/MTV	MTV	PAS

PTV = Pesagem de Tecido Vegetal; PMA = Preparo de Material de Amostragem; PAS = Processamento de Amostras de Solo; MTV = Moagem de Tecido Vegetal; AC= Amostragens a campo. Fonte: o autor.

5.3. Atividade 1: Avaliações a campo

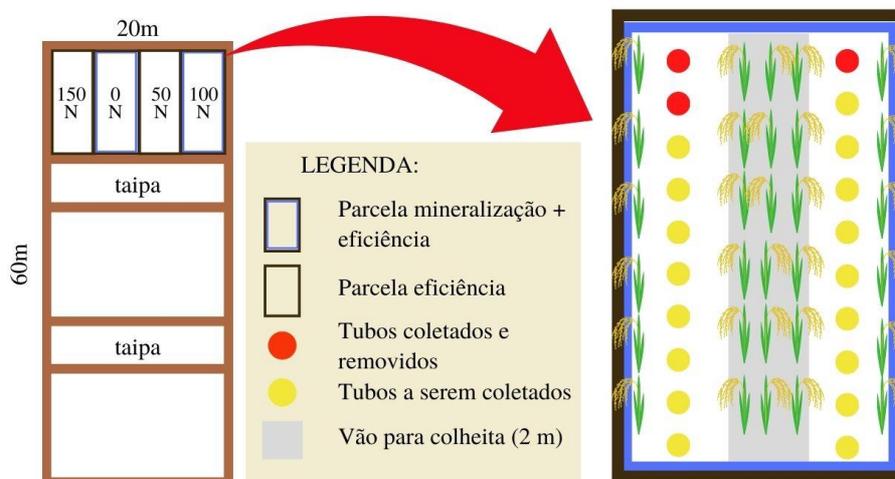
As amostragens eram feitas por uma equipe pré-organizada e devidamente instruída sobre o procedimento, composta de técnicos e estagiários sob a supervisão do mestrando. É importante salientar que o mestrando prezava para que a mesma pessoa realizasse a mesma atividade durante todo o experimento. Entretanto, como o objetivo do estágio era entender o máximo possível do funcionamento dos experimentos, durante as amostragens todas as equipes/etapas foram acompanhadas.

5.3.1. Amostragens no experimento de mineralização de N

As coletas para a quantificação de mineralização de N do solo foram realizadas após o solo ser inundado, exceto primeira a amostra de solo. A irrigação por inundação foi realizada no estágio fenológico V3-V4 da cultura do arroz segundo a escala de Counce et al. (2000). A determinação de mineralização ocorreu por meio da utilização de resinas catiônicas (Purolite® SSTC60) além do N absorvido pelos tecidos vegetais do arroz. Deste modo é possível realizar a comparação de concentração de N no solo e na água. Para a determinação de NH_4^+ foram realizadas amostragens de resinas, solo e água imediatamente após a inundação do arroz a cada 14 dias até que a cultura encerrasse o ciclo. Foram realizadas no total sete amostragens, das quais apenas seis foram acompanhadas.

Antes da inundação foram dispostos canos espaçados a cada 1,00-1,15m de mesmo diâmetro do que o trado calador, desse modo, no momento da coleta, o cano era retirado e no local em que ele estava era enterrada um saco de tela contendo resina no solo. Essas resinas, eram enterradas dentro de um tubo de PVC maior que estava na entrelinha. Este tinha 50 cm de altura com 11 cm de diâmetro e era enterrado a 15 cm de profundidade no solo, assim dentro do tubo as condições eram as mesmas do restante da parcela, porém sem a planta de arroz. Após esse procedimento todo o material era realocado na nova posição para ser coletado depois de 14 dias, (Figura 3).

Figura 3. Esquema da parcela, experimentos e metodologia de troca de tubos de 100 mm por coleta para a medição da mineralização na solução do solo em casa sistema acompanhado



Fonte: Guillermo Fabini (adaptado).

As amostragens eram realizadas simultaneamente e seguiam a seguinte ordem:

1° - ocorria a amostragem de água, pois como a parcela estava, via de regra, sem a circulação de pessoas, as partículas estavam decantadas no solo e assim, evitava a coleta de água com outras partículas em suspensão;

2° - era coletado o solo, para que o pisoteio dentro da parcela não interferisse nas amostras;

3° - eram coletadas as plantas, e os tubos de PVC da coleta anterior eram movidos para o local onde foram retiradas as plantas de arroz (Figura 3).

Após coletadas as resinas, a água e o solo, estes eram imediatamente colocados em uma caixa térmica até serem levados ao laboratório na sede, lá elas eram colocadas em uma câmara fria com temperatura de 4°C e a água em um freezer até o momento do processamento. Esse procedimento levava em torno de 6 a 7 horas.

As primeiras amostras de solo foram feitas nas entrelinhas ainda em solo seco, um dia antes da inundação, para cada tratamento foram retiradas amostras das camadas de 0-15 e 15-30 cm de profundidade, todas foram compostas de 10 subamostras por rotação. Após a coleta, o solo é colocado em sacos identificados e refrigerada em caixa térmica, para serem congeladas posteriormente. Depois da inundação, as amostras foram retiradas com um trado calador próximo ao tubo de PVC a 15 cm de profundidade, sendo que para cada parcela de doses de N foram retiradas três amostras/parcela de profundidade de 15 cm utilizando-se de um trado calador. É importante salientar que todas as amostras foram conservadas em sacos plásticos, com as devidas identificações, e colocadas em caixa térmica, tal qual foram retiradas, ou seja, sem passar por processo de secagem. Além disso foi retirada uma outra amostra de solo de cada rotação, afim de ser aferida a umidade gravimétrica do solo (U_g).

Já no primeiro dia de inundação foram realizadas amostras de água no entorno dos tubos de PVC, o mesmo procedimento foi realizado nas demais coletas. Para as amostragens de plantas de arroz, o corte foi realizado junto à superfície do solo. Foram retiradas três repetições por parcela sendo que cada amostra consiste no corte de 0,5 m de plantas de duas linhas vizinhas para os tratamentos de 0 kg de N/ha e de 100 kg de N/ha. As amostras foram dispostas em sacos plásticos pré-identificados com etiquetas em papel pardo. Essa zona sem vegetação sempre era no entorno dos tubos de PVC. Após a coleta as amostras de plantas eram lavadas e secas em estufa para ser estimada a matéria seca (MS). Para a amostragem de planta nos tratamentos de 50 e 150 kg de N/ha foram retiradas apenas uma repetição de cada tratamento sendo essa de 0,5 m linear de plantas de um lado do tratamento e de mesmo comprimento da diagonal do tratamento.

5.3.2. Amostragens do experimento de Eficiência Agronômica de Nitrogênio

Nesse experimento, as amostragens eram feitas em conjunto com o ensaio de mineralização, em que era amostrada uma terceira linha de plantas a partir da borda da parcela para determinação de MS e concentração de N. Para a amostragem de planta nos tratamentos de 50 e 150 kg de N/ha foram retiradas apenas uma repetição de cada tratamento sendo essa de 0,5 m linear de plantas de um lado do tratamento e de mesmo comprimento da diagonal do tratamento. Nesse experimento também foram feitas amostragens no final do ciclo do arroz para determinação de rendimento do arroz, porém não foram acompanhadas e esses dados foram trabalhados apenas remotamente. Além disso os resultados amostragens de planta e de grãos feitas nas parcelas com doses de 0 e 100 kg de N/ha foram aproveitados para os cálculos de EAN que serão apresentados a seguir.

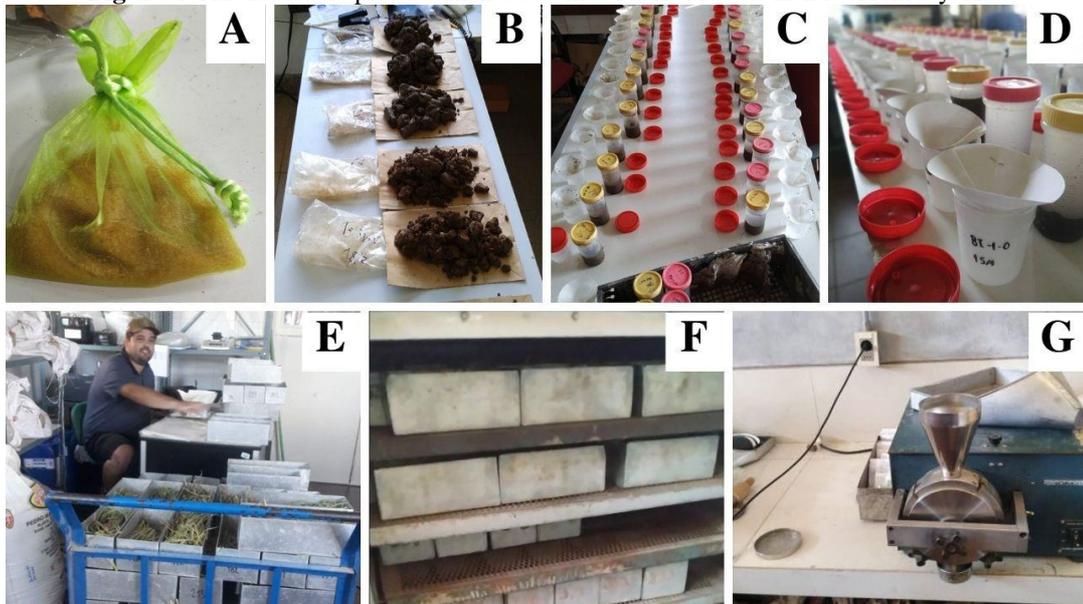
5.4. Atividade 2: Processamento das amostras

Após serem retiradas do campo, as resinas eram colocadas em potes plásticos e levadas à sede, onde eram conservadas em uma geladeira a 4°C para que no dia seguinte fossem realizadas as extrações. O processamento era fazer a lavagem das resinas, e dentro dos potes de 200 mL colocar 150 mL de solução de KCl 1M, para depois serem colocadas em um agitador por 2 horas a 180 oscilações por minuto. Uma vez terminada a agitação era retirada uma alíquota e colocada em um *ependorf*. Esse procedimento era realizado três vezes e as amostras eram enviadas para a Faculdade de Agronomia da Universidad de la Republica (UDELAR) para ser feita a colorimetria e determinação de concentração de amônio (Figura 4A).

O solo coletado que estava nos sacos plásticos e mantidos em geladeira a 4°C estava normalmente em “torrões”. Assim, cada amostra era retirada do saco plástico e manualmente era feito o cisalhamento e homogeneização (Figura 4B). Após esse processo, eram pesadas 50g de cada amostra e dispostas em frascos de 200 mL juntamente com 160 mL de KCl 2M (1:3:2) para que fossem agitados por 2 horas a 120 oscilações por minuto. Os frascos então eram retirados e mantidos por 30 minutos parados para que as partículas em suspensão decantassem (Figura 4C). Depois disso o sobrenadante desses frascos era filtrado com papel filtro de café (Whatman N° 1, ou similar) em tubos de em que são coletadas amostras de urina, sendo descartados os primeiros 10ml devida alta concentração de nitrato e amônio (Figura 4D). Dessa solução filtrada era tomada uma amostra de 2ml, disposta em um *ependorf* e enviada a Fagro/Udelar. A amostra que era colocada em estufa a 105°C por 48h, para a determinação de U_g era pesada em balança semi-analítica. Os frascos contendo as amostras de água eram congelados até serem enviados para análise.

Após a coleta das plantas de arroz, era feita a lavagem em água destilada, para retirada do solo e/ou plantas daninhas. As amostras eram colocadas em caixas de aço galvanizado junto das etiquetas, os furos da parte inferior das caixas eram cobertos com papel toalha. E assim eram secas em estufa a 50-65°C por 48-72h (Figuras 4F). Após serem secas, as amostras eram pesadas em balança semi analítica para ser determinada a MS (Figura 4E). A seguir, as amostras eram colocadas em novos sacos plásticos junto de suas etiquetas. Para assim ser realizada a moagem em peneira de 0,5 mm. A moagem era de modo a gerar um conteúdo de aproximadamente 5 g em que posteriormente era armazenado em envelopes para ser enviado para a análise (Figura 4G). Esse procedimento leva tempo, pois para que não haja contaminação entre amostras, após cada planta ser moída, é necessária a limpeza total do equipamento. Essa atividade foi realizada durante a maior parte do tempo do estágio (Tabela 2).

Figura 4. Atividades de processamento de amostras na sede do INIA - Treinta y Tres



A = saco de tela contendo resina no interior; B= processamento de amostras de solo; C e D= filtragem da solução de KCl + solo; E= pesagem das amostras de tecido vegetal; F= secagem das amostras de tecido vegetal; G= moinho com peneira de 5mm. Fonte: O autor.

Em função da pandemia mundial da COVID-19, as análises dessas amostras que foram processadas, ocorreram parcialmente, deste modo não puderam ser obtidos resultados até o momento da entrega deste relatório.

5.5. Atividade 3: Processamento de dados remotamente

Mesmo que o período de estágio tenha terminado no final de fevereiro, os dados de produtividade e eficiência agrônômica de N (EAN) foram processados remotamente durante o recesso que houve devido à pandemia da COVID-19. Os cálculos de produtividade foram com base nos dados enviados pelo mestrando Guillermo Fabini. E com esses valores em conjunto com as doses de N aplicadas via adubação foi possível a realização do cálculo de EAN (Mol et al., 1982):

$$\text{EAN} = \frac{\text{PF} - \text{PNF}}{\text{QN}} = \text{Kg de grão. Kg de N}^{-1}$$

Onde:

PF = produtividade de grãos das plantas fertilizadas (kg ha⁻¹);

PNF = produtividade de grãos de plantas não fertilizadas (kg ha⁻¹);

QN = quantidade de N aplicada em cobertura (kg ha⁻¹).

Como não foi realizada análise estatística dos resultados de produtividade e EAN, os valores a serem apresentados e discutidos serão com base nos valores absolutos, sem a possibilidade de representação significativa das diferenças. Entretanto com a possibilidade de realizar apontamentos e observações na variação desses valores absolutos.

5.5.1. Produtividade do Arroz nos diferentes sistemas

Cabe salientar que os dados obtidos foram de análises parciais. Sendo assim para que ocorram afirmações categóricas dos diferentes sistemas avaliados, seria necessária a análise estatística dos resultados. Contudo optou-se por não serem realizados os devidos testes estatísticos, pois esses dados parciais serão avaliados futuramente pelo mestrando Guillermo Fabini, em conjunto com os resultados das demais análises de solo, planta, resina e água, que não foram realizadas pela suspensão temporária das atividades dos laboratórios uruguaios. Deste modo, a seguir serão realizadas inferências levando em consideração a tendência dos resultados parciais dos tratamentos avaliados.

Todos os tratamentos estudados apresentaram tendência de resposta às doses de N. As maiores produtividades médias foram observadas na testemunha, nas rotações Arroz1 - pastagem perene longa (R4-Az1) e Arroz - soja (R6-Az) em termos absolutos. Além disso menores produtividades observadas foram nas rotações Arroz2- pastagem perene longa (R4-Az2) e Arroz-Contínuo (R1-Az).

A testemunha apresentou tendência à maiores produtividades com 12,8 e 12,7 Mg.ha⁻¹ (Tabela 3) com níveis de adubação de 50 e 100 kgN.ha⁻¹, respectivamente. A produtividade de 12,1 Mg.ha⁻¹ (Tabela 3) observada no sistema Arroz1- pastagem perene longa demonstrou um perfil esperado semelhante ao perfil da testemunha, em que a fertilidade natural do solo é regenerada durante 3 anos e a utilização de leguminosas e gramíneas consorciadas promove essa melhoria na qualidade do solo. Essa produtividade foi obtida com adubação de 100 kgN.ha⁻¹. Contudo, quando o arroz retorna nesse sistema após período hibernar com leguminosa exclusivamente as produtividades médias diminuem, isso foi comprovado pela produtividade de 10,6 Mg.ha⁻¹ do sistema Arroz2 – pastagem perene longa em adubação de 150 kg N.ha⁻¹, ou seja, a produtividade não só diminuiu, mas também a necessidade de N para alcançar o máximo potencial do sistema produtivo aumentou.

Tabela 3. Produtividade e Eficiência Agrônoma de N nos sistemas acompanhados em diferentes doses de N.

Sistema de Produção	Dose (kgN.ha ⁻¹)			
	0	50	100	150
	Produtividade Mg.ha⁻¹			
Testemunha	11,7	12,7	12,8	12,4
R4-Az1	10,5	11,6	12,1	12,0
R4-Az2	8,0	9,2	10,0	10,6
R6-Az	9,6	10,4	11,9	12,3
R1-Az	8,3	9,0	9,5	10,5
	Eficiência Agrônoma do N kg.kg⁻¹			
Testemunha	-	20,0	10,3	4,2
R4-Az1	-	22,6	16,2	4,2
R4-Az2	-	22,9	19,7	17,4
R6-Az	-	17,0	22,8	17,9
R1-Az	-	15,7	12,6	14,7

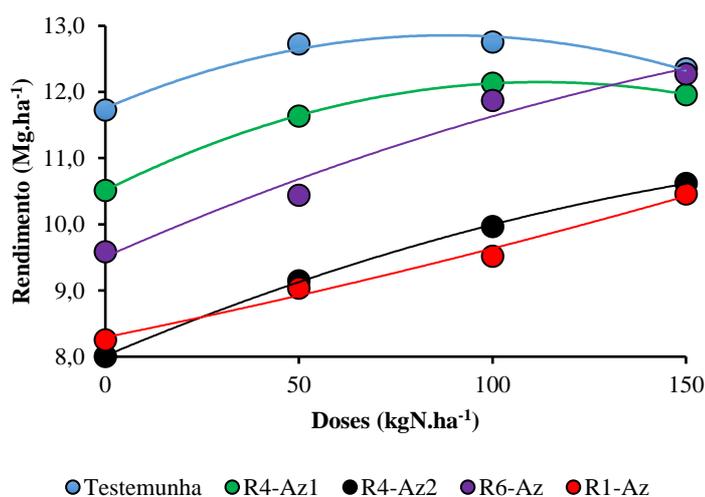
Testemunha = Retorno; R4-Az1 = Arroz1 - pastagem perene longa; R4-Az2 = Arroz2- pastagem perene longa; R6-Az = Arroz - Soja e R1-Az = Arroz-Contínuo. Fonte: Guillermo Fabini e o autor.

Assim, a rotação Arroz Contínuo apresentou tendência de resposta à adubação semelhante à R4-Az2 (Figura 5), ou seja, após três anos de pastejo, quando o arroz é cultivado em segundo ano seguido, o comportamento de resposta à adubação nitrogenada, acaba sendo semelhante a um sistema típico de monocultivo de arroz mesmo que nesse sistema seja incluída uma leguminosa no período hibernar com produtividades (na dose de 150 kgN.ha⁻¹) de 10,6 e 10,5 Mg.ha⁻¹ para R4-Az2 e R1-Az respectivamente (Tabela 3).

Deste modo as curvas de produtividade em resposta aos diferentes níveis de adubação demonstram que os níveis de suficiência para a máxima produtividade da testemunha e do tratamento R4-Az1 são mais baixos que nos demais tratamentos, em termos absolutos. Sendo nestes a máxima produtividade alcançada com 100 kgN.ha⁻¹ (Figura 5).

Nos demais tratamentos o máximo rendimento não foi observado com os níveis de adubação estudados, restando às curvas ainda, tendência ao infinito.

Figura 5. Produtividade de arroz nas diferentes rotações em função da dose de N aplicada via adubação



Testemunha = Retorno; R4-Az1 = Arroz1 - pastagem perene longa; R4-Az2 = Arroz2- pastagem perene longa; R6-Az = Arroz - Soja e R1-Az = Arroz-Contínuo. Fonte: Guillermo Fabini e o autor (adaptado).

Assim, quando observamos a produtividade de arroz no sistema em rotação com soja sem a adição de N temos uma produtividade média 9,6 Mg.ha⁻¹. Além disso a produtividade com a dose de 150 kgN.ha⁻¹ foi de 12,3 Mg.ha⁻¹ (Tabela 3). Isso é um demonstrativo que quando é feita a rotação com soja em sucessão com a leguminosa (*Trifolium alexandrinum*) a resposta à adubação apresenta produtividade, na dose mais alta estudada, semelhante à de arroz de primeiro ano após uma pastagem perene longa. Ainda que com adubação de 100 kg de N.ha⁻¹ foi observada produtividade 1,0 Mg.ha⁻¹ menor do que a da rotação R4-Az1 (Figura 5).

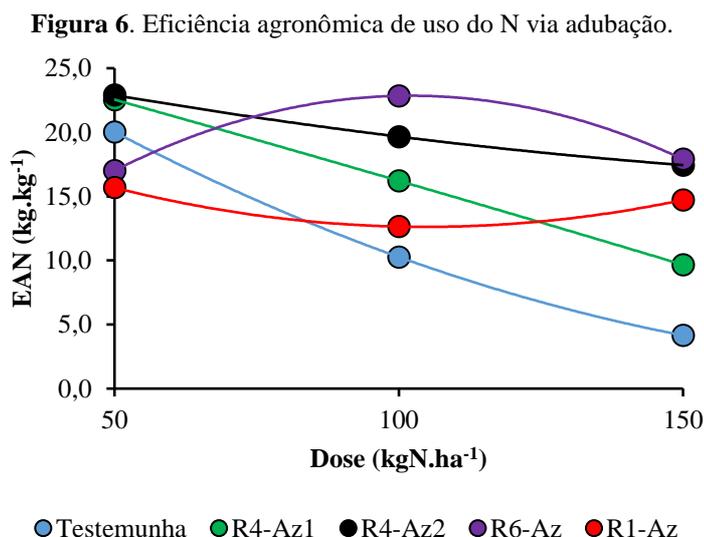
5.5.2. Resultados parciais de Eficiência Agronômica de N

A tendência de valores mais altos de EAN foram observados nos tratamentos R4-Az1 e R4-Az2 com 22,6 e 22,9 kg.kg⁻¹ respectivamente na dose de 50 kgN.ha⁻¹ e no tratamento R6-Az1 na dose de 100 kgN.ha⁻¹ em que teve EAN = 22,8 kg.kg⁻¹ (Tabela 3). Isso pode significar que esses

tratamentos produzem em torno de 22,7 kg de grãos a cada kg de N adicionado na lavoura de arroz.

A testemunha e o tratamento R4-Az1 tiveram resposta semelhante com adubação de 150 kg.ha⁻¹, que também foi a menor resposta observada. Isso pode demonstrar que em doses muito altas esses sistemas tendem a não responder mais da mesma forma à adubação, dessa forma, podemos estar adubando esses sistemas e esperando uma alta resposta, contudo o arroz não responder e isso representar, de certa forma prejuízo (Tabela 3). Por que a produtividade nessa dose de adubação para a testemunha e para o R4-Az1 foram de 12,4 e 12,0 Mg.ha⁻¹, o que em valores absolutos representou um decréscimo de 400 e 100 kg.ha⁻¹ de grãos de arroz. Assim podemos observar a tendência de decréscimo da resposta à adubação conforme ela aumenta para a testemunha, R4-Az1, e R4-Az2 (Figura 6).

Para o tratamento R6-Az EAN aumenta até a dose de 100 kgN.ha⁻¹, porém tende a decrescer conforme a dose aumenta até 150 kgN.ha⁻¹. (Figura 6).



Testemunha = Retorno; R4-Az1 = Arroz1 - pastagem perene longa; R4-Az2 = Arroz2- pastagem perene longa; R6-Az = Arroz - Soja e R1-Az = Arroz-Contínuo. Fonte: Guillermo Fabini e o autor.

Comportamento oposto é observado para o tratamento R1-Az em que a EAN decresce até a dose de 100 kgN.ha⁻¹, e com doses superiores tem EAN crescente (Figura 6).

Deste modo embora todos os sistemas apresentem essa tendência de resposta cescientemente às doses de adubação em termos de rendimento absoluto, a dinâmica de eficiência agrônômica pode diferir conforme o manejo adotado.

6. DISCUSSÃO

Como todo o manejo das culturas era realizado por técnicos que iam todos os dias para o campo na estação *Paso de la Laguna* o único contato que o estudante tinha com o campo era no momento das coletas das amostragens, em um dia da semana. As atividades realizadas durante o estágio divergiram, em parte da metodologia realizada durante a vivência acadêmica. Dessa forma a discussão será dividida em duas etapas. A primeira será com base na vivência de campo, e a segunda referente aos resultados obtidos com os experimentos.

6.1. Observações feitas sobre as atividades 1 e 2

Entre as maiores características da metodologia de trabalho empregada, pode-se destacar a organização das equipes e dos materiais. Como todos os materiais a serem utilizados eram separados e identificados uma semana antes das coletas, praticamente não foram perdidas amostras e dados coletados durante o estágio. Isso é algo muito incentivado por toda a equipe do INIA – Treinta y Tres. Além disso, toda a equipe era requisitada uma semana antes. Deste modo, não havia divergências quanto a quem e quanto seria direcionado para cada atividade. Outro fator que pode ser destacado é que normalmente a mesma pessoa que fazia a mesma coleta. Isso era algo estimulado, para que não houvesse alta variabilidade de metodologias aplicadas por cada técnico e estagiário. Contudo, o uso excessivo de materiais descartáveis, aumenta a produção de resíduos, mesmo sendo algo que aumentava a organização e a beleza visual das embalagens e recipientes de coleta antes e após as coletas.

A utilização de resinas para a coleta para análise de N na solução do solo, se mostrou uma grande ferramenta em comparação à prática normalmente realizada durante iniciação científica no IRGA. Nessa experiência anterior, frascos plásticos sem fundo, eram enterrados no solo com uma tela e com uma mangueira de 5 mm que ficava para fora do solo, e por essa mangueira a solução do solo era coletada com uma seringa para medições de NH_4^+ , uma prática semelhante à do estágio. Porém, a prática do estágio além de apresentar maior potencial na adsorção dos íons, também se mostrou mais sustentável em comparação à realizada durante experiências anteriores.

A coleta de plantas era realizada em sacos plásticos com etiquetas de papel, essas coletas de tecido vegetal poderiam ser feitas em sacos de papel. Em que as amostras seriam colocadas diretamente nas estufas para secagem. Esses sacos por sua vez poderiam ser reaproveitados em média três vezes e descartados. Os sacos de plástico utilizados no estágio na maioria das vezes rasgavam e eram descartados. Isso, de certa forma, aumentava a produção de resíduos.

Além disso, a prática de retirada das amostras de plantas do saco de papel, lavagem e armazenamento em caixas era algo que além de demandar tempo, podia interferir negativamente nos resultados. Pois no processo de lavagem junto com o solo e as plantas daninhas, muitas vezes parte do material a ser analisado era perdido. No caso dos sacos de papel, toda a mostra era seca e pesada dentro do saco tarado, o que muitas vezes podia superestimar os resultados, já que a seleção de plantas daninhas e solo era feita ainda no campo o que muitas vezes é ineficiente.

Como o processamento das amostras de solo era realizado em potes de plástico, enquanto no laboratório da UFRGS e do IRGA era em potes de vidro, isso se mostrou também um tanto insustentável do ponto de vista do reaproveitamento dos materiais, pois após serem agitados os potes de plástico tinham suas vidas úteis diminuídas e, na maioria das vezes, eram descartados. O procedimento de coleta de água era muito semelhante ao realizado, durante suas experiências prévias, embora durante a experiência de campo tenham sido utilizados tubos *Falcon* que garantem maior hermeticidade às amostras, mas apresentem um custo maior, enquanto no estágio eram potes para armazenamento de alimento, que muitas vezes vazavam, porém apresentavam custo menor.

O armazenamento das amostras de resina, solo e água em caixas térmicas, é uma prática que proporcionava melhor conservação das amostras, e tendo em vista que a sede do INIA era a 20 km da EEA/Paso de la Laguna, onde estão localizados os laboratórios. Então isso pode ter sido um fator que garantiu o sucesso dos resultados. Em experiências práticas anteriores ao estágio, no IRGA, talvez pela proximidade dos experimentos de campo aos laboratórios não ocorria, dessa forma, porém como muitas vezes as amostragens duravam o dia inteiro, a falta de conservação ter sido um fator de interferência indesejável nos resultados.

Outro fator que pode ser destacado, é que as amostras após processadas na sede do INIA/Treinta y Tres eram enviadas para análise na estação INIA/La Estanzuela e/ou para o laboratório de análises da UDELAR/Montevidéu, que fica aproximadamente 430 e 280 km de distância, respectivamente. Essa logística de transporte, além de demandar maiores custos, também poderia ter influenciado negativamente a integridade das amostras processadas. Deste modo, se esses experimentos forem se manter por mais tempo, seria ideal que na sede do INIA/Treinta y Tres fosse pensado um laboratório de análises de solos e águas, que pudesse atender não só à demanda dos experimentos, mas também dos produtores da região norte/nordeste do Uruguai.

Por fim, a atividade de moagem das plantas é algo que produz poeira muito fina e ruídos, deste modo a instituição, sempre muito preocupada com a segurança no trabalho, disponibilizou mascarar, fones de ouvido, óculos de proteção, a utilização de EPI, fez com que esse trabalho repetitivo e um tanto oneroso se tornasse agradável de ser feito. Esse ponto de preocupação com

a segurança dos colaboradores que o INIA tem é algo a ser seguido de exemplo por outras instituições e outros países.

6.2. Observações sobre os resultados da atividade 3.

Os padrões observados em todas as curvas de produtividade em resposta à adubação seguiram o que foi descrito por Misdcherlich, em que embora os incrementos de produção proporcionados pela adição de determinado nutriente (nesse caso N), tendem ao infinito até alcançarem o limiar de máxima produtividade. A partir desse ponto incrementos sucessivos destes nutrientes podem promover efeitos depressivos na produtividade, sendo o melhor ajuste por meio de um polinômio de segundo grau. Isso por sua vez pode promover prejuízos duplos, tanto pelo custo por área da aplicação de mais insumos, quanto pela perda de rendimento da cultura (RAIJ, 2011).

A produtividade da tesmunha demonstra que, a regeneração do campo de sucessão por três anos faz com que quando o solo é novamente cultivado, a fertilidade natural diminui a necessidade de adubação nitrogenada. Isso pode ser explicado pela regeneração das condições naturais do solo por um período sem o cultivo com plantas de lavoura durante 3 anos que aumentam os estoques de carbono e matéria orgânica no solo (MARTINS et al., 2017).

Os padrões observados nos tratamentos R4-Az1 e R4-Az2 demonstram que para haver tendência de alta produtividade, em um sistema com produção de arroz com período de pastejo hibernar, a necessidade de adubação nitrogenada pode aumentar (150 kgN.ha^{-1}) entre o cultivo arroz de primeiro ano e de segundo ano (Denardin., et al 2020; Ely 2020). Ainda que as maiores produtividades podem ser ligeiramente menores quando o arroz retorna no sistema (R4-Az2) do que no primeiro ano de cultivo de arroz após longo período de pastejo em pastagem perene (R4-Az1). A média de produtividade dos dois tratamentos sugere padrão semelhante ao encontrado por Macedo et al. (2021) que também constatou que pastagens perenes apresentam melhor condicionamento do solo do que culturas anuais.

O comportamento do tratamento R4-Az2 acaba se assemelhando mais ao monocultivos de arroz (Arroz-Contínuo). Observação semelhante à de Denardin et al. (2020), ainda que o SIPA estudado era com a presença de *L. multiflorum* no período hibernar em vez de leguminosa como no experimento acompanhado no estágio.

Muitas vezes, o tratamento que apresenta a menor resposta à adubação nitrogenada não necessariamente é o sistema com menor eficiência, mas sim menos dependente desse N advindo do meio externo ao sistema de produção. Deste modo foi observado que um dos sistemas, que

aparentemente apresentou maior resposta à adubação com N, teve tendência de resposta decrescente na produção de kg de arroz por kg de N adicionado via adubação que foi o caso da testemunha. Como visto anteriormente, esse sistema pode ter apresentado alta fertilidade natural, proporcionada pelo período de regeneração, estimulada pelos animais em pastejo (CARVALHO et al., 2010; MARTINS et al., 2015).

Perfil semelhante, porém, com EAN ainda menor foi observada no sistema R4-Az1, isso confirma a possibilidade de que com a inclusão de período de pastejo sob pasto composto de leguminosas e gramíneas cultivadas pode aumentar ainda mais a fertilidade natural do solo, e diminuir a dependência de maiores adubações para se obter as mesmas produtividades. Contudo quando depois desse longo período de pastejo, já no próximo ano é cultivado o arroz na mesma área (R4-Az2) a dependência da adubação aumenta, ainda que isso ocorra de forma diferente do que em sistemas de monocultivos de arroz em sucessão com leguminosa hibernal (R1-Az). Neste último caso, pode-se inferir que o sistema solo supre as necessidades da planta até um certo nível, que quando ultrapassado irá diminuir em importância, restando essa EAN maior em função do adubo aplicado no solo.

O tratamento R6-Az apresentou comportamento diferente dos demais, em que a EAN aumentou até a dose de 100 kg de N.ha⁻¹, e após esse ponto os incrementos advindos do N adicionado diminuíram em importância. Como esse sistema apresentou, além de soja na safra anterior a presença de leguminosa no período de outono inverno. O efeito da presença exclusiva de leguminosas no sistema pode ter sido um dos fatores de maior importância para essa menor EAN em adubações para resposta muito alta.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O intercâmbio proporcionado pela UFRGS representada pela pessoa da Prof^a. Dr^a. Amanda Posselt Martins e pelo INIA representado pelas pessoas do Dr. Jose Terra, Eng. Agr. Guillermo Fabini e demais técnicos, foi uma experiência que ficará marcada para toda a minha vida. A possibilidade de aplicar em outro país os conhecimentos adquiridos durante a graduação, fez com que toda a teoria passada com excelência pela universidade fosse utilizada para contribuir no cotidiano profissional das pessoas que me receberam com muita educação e carinho.

As técnicas e metodologias apresentadas durante este trabalho apresentaram algumas divergências com o que foi aprendido em sala de aula e em vivência durante as bolsas de iniciação científica. Porém são detalhes, que podem interferir direta ou indiretamente nos resultados obtidos por meio do experimento. Primeiramente a produção excessiva de resíduos foi algo notavelmente

negativo em comparação às práticas realizadas em experiências anteriores pelo aluno. Contudo a organização das amostragens, da equipe, a segurança no trabalho, das instalações e da instituição como um todo são um exemplo a ser seguido pelas instituições brasileiras.

Por fim as produtividades e a EAN observadas nos diferentes sistemas integrados seguem padrão de outros experimentos realizados em outros locais. Assim, a intensificação sustentável da lavoura arrozeira em conjunto com a pecuária, bem como a recuperação do solo promovida por longos períodos de pastejo podem ser alternativas para incrementos de produtividades e melhoria da fertilidade do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERS, M. M. et al. The effect of rotation, tillage, and fertility on rice grain yields and nutrient flows. In: **26th Southern Conservation Tillage Conference**. North Carolina – USA. p. 8, jun 2004

ANGHINONI, I.; COSTA, G. DE A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropico brasileiro. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.8, p. 325-380, 2013.

BERRETTA, E.J. et al. *Campos* in Uruguay. IN: LEMAIRE, G. (ED.). **Grassland ecophysiology and grazing ecology**. Oxford [England] ; New York, NY: CABI Pub, 2000, p. 377-394.

BOBIHOE, J.; JUMAKIR; ENDRIZAL. Improving rice productivity through the new superior varieties of rice in the irrigation land, Jambi Province. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 807, n. 4, p. 042001, 1 jul. 2021.

BUNGENSTAB, D. J. et al (ED). ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília – DF: Embrapa, 2019, p.835. ISBN 978-85-7035-922-3

CARLOS, F. S. et al. Integrated crop–livestock systems in lowlands increase the availability of nutrients to irrigated rice. **Land Degradation & Development**, v. 31, n. 18, p. 2962–2972, dez. 2020.

CARMONA, F. DE C. et al. Effectiveness of Current Fertilizer Recommendations for Irrigated Rice in Integrated Crop-Livestock Systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, n. 0, 2016.

CARVALHO, P.C.F. et al. Integração lavoura-pecuária: como aumentar a rentabilidade, otimizar o uso da terra e minimizar os riscos. IN: PATINO, H. O.; BERNADÁ, M. H. G.; MEDEIROS, F. S. (ORG.). II SIMPÓSIO DA CARNE BOVINA: INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA. Porto Alegre, 2004, v. 1, p. 6-36.

CARVALHO, C. P. F. et al. Land-use intensification trends in the rio de la plata region of south america toward specialization or recoupling crop and livestock production. **Front. Agr. Sci. Eng.** p. 97–110, 2021. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2020380>

CARVALHO, P. C. F. et al. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Amsterdam, v. 88, n. 2, p. 259-273, 2010.

CASSMAN, K. G. et al. Opportunities for increased nitrogen-use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems. **Field Crops Research**, v. 56, n. 1–2, p. 7–39, mar. 1998.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Série Histórica dos Grãos, Disponível em: < <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html> >. Acesso em: 12 de agosto de 2021.

COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective, and adaptative system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, 40:436-443. 2000.

COURDIN, V.; HERNÁNDEZ, A. Dinámica del cultivo de arroz en Uruguay en el “nuevo” escenario agropecuario (2000-2010). **Cangüé**. no. 34:21-31, set - 2013.

DENARDIN, L. G. DE O. et al. Integrated crop–livestock systems in paddy fields: New strategies for flooded rice nutrition. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 3, p. 2219–2229, maio 2020.

DENARDIN, L. G. DE O. et al. No-tillage increases irrigated rice yield through soil quality improvement along time. **Soil and Tillage Research**, v. 186, p. 64–69, mar. 2019.

DURÁN, A. et al (ED). Keys to Soil Taxonomy for Uruguay. **USDA Natural Resources Conservation Service**. Washington, DC 2006, p.77.

ELY, M. F. **Adubação nitrogenada em sistema integrados de produção agropecuária em terras baixas: resposta de azevém e arroz irrigado**. Dissertação (Mestrado). Universidade

federal do rio grande do sul faculdade de agronomia programa de pós-graduação em ciência do solo. Porto Alegre, p. 159, 2020.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA/CENTRO DE SOCIOECONOMIA E PLANEJAMENTO AGRÍCOLA - EPAGRI/CEPA. **Boletim Agropecuário**. Florianópolis, p. 53. julho de 2021, (Epagri. Documentos, 342).

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS / UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN – FCA/UNA. Arroz: Datos, estadísticas y comentarios. San Lorenzo (Paraguay), Vol 1, nº7, abril de 2020. (boletim técnico)

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS – FAO-UN. Crops and Livestock products. Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/en/#compare> >. Acesso em: 12/08/2021.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. DOS; CUTRIM, V. DOS A. Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 7, p. 1029–1034, jul. 2007.

DE MORAIS, A. et al. Research on Integrated Crop-Livestock Systems in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5 (Especial), p. 1024-1031, 2014

DE OLIVEIRA, A. C. Recursos genéticos de arroz (*Oryza sativa* L.) no Sul do Brasil. p. 160, Pelotas, 2006 (tese de doutorado)

DIEKOW, J. et al. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil and Tillage Research**, v. 81, n. 1, p. 87–95, mar. 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA – INE. Censos 2011. Disponível em: <<https://www.ine.gub.uy/web/guest/censos-2011>>. Acesso em: 09/09/2020.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ / DIVISÃO DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – IRGA/DATER. Boletim de Resultados da Lavoura-Safra 2019/2020, p.11, Cachoeirinha, agosto de 2020.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ / DIVISÃO DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – IRGA/DATER. Boletim de Resultados da Lavoura-Safra 2019/2020, p.11, Cachoeirinha, agosto de 2020.

ISHFAQ, M. et al. Influence of Nitrogen Fertilization Pattern on Productivity, Nitrogen Use Efficiencies, and Profitability in Different Rice Production Systems. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n. 1, p. 145–161, mar. 2021.

GARRETT, R. D. et al. Social and ecological analysis of commercial integrated crop livestock systems: Current knowledge and remaining uncertainty. **Agricultural Systems**, v. 155, p. 136–146, jul. 2017.

GREGORICH, E. G. et al. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 74, n. 4, p. 367–385, 1 nov. 1994.

KIRSCHENMANN, F. L. Potential for a New Generation of Biodiversity in Agroecosystems of the Future. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 2, p. 373–376, mar. 2007.

KUNRATH, T. R. A importância da partagem na integração lavoura pecuária: da proteção do solo aos serviços ecossistêmicos (Parte I). **Integrar – gestão e inovação agropecuária**. Triunfo – RS, p. 4, nov. 2015. (boletim técnico)

LIMA, G. G. et al. Yield and profitability of flooded rice genotypes in relation to nitrogen doses and phosphorus and potassium application. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiania, v. 50, p. e64561, 2020.

MACEDO, I. et al. Soil organic matter in physical fractions after intensification of irrigated rice-pasture rotation systems. **Soil and Tillage Research**, v. 213, p. 105160, set. 2021.

MADALENA, B. et al. Evolução da fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul. Cachoeirinha, RS, p.40, 2010 (Boletim técnico, 8)

MAHMOOD, N. et al. Impact of temperature and precipitation on rice productivity in rice-wheat cropping system of Punjab province. **J. Anim. Plant Sci.**, p. 5, 2012.

MARTINS, A. P. et al. Short-term Impacts on Soil-quality Assessment in Alternative Land Uses of Traditional Paddy Fields in Southern Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 28, n. 2, p. 534–542, fev. 2017.

MARTINS, A.P.; KUNRATH, T.R. ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C. de F. (Ed.). Integração soja-bovinos de corte no Sul do Brasil. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 2015. 102p. (Boletim técnico)

MCNAUGHTON, S. J. Ecology of a Grazing Ecosystem: The Serengeti. **Ecological Monographs**, v. 55, n. 3, p. 259–294, set. 1985.

MENEZES V. G. *et al.* **Projeto 10**: estratégias de manejo para aumento da produtividade e da sustentabilidade da lavoura de arroz irrigado do RS: avanços e novos desafios. Cachoeirinha: IRGA, 2012. 101 p.

MINISTERIO DE AGRICULTURA GANADERIA Y PESCA – MADYP. Estimaciones Agrícolas. Disponível em: <
<http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones> > acesso em 10 de agosto de 2021.

MINISTERIO DE GANADERIA AGRICULTURA Y PESCA – MGAP. Censo General Agropecuario 2011: Resultados definitivos. Montevideo, 2011, p. 146.

MINISTERIO DE GANADERIA AGRICULTURA Y PESCA – MGAP. Encuesta de arroz – zafra 2019/20. N.º. 361, Montevideo, 2020. 17p (boletim técnico).

NABINGER, C.; DE MORAES, A.; MARASCHIN, G.E. *Campos in Southern Brazil*. IN: LEMAIRE, G. (ED.). **Grassland ecophysiology and grazing ecology**. Oxford [England] ; New York, NY: CABI Pub, 2000, p. 355-372.

PILLAR, V. P. et al. (ED) Campos Sulinos – conservação e uso sustentável da biodiversidade. Brasília:MMA, p. 403, 2009.

PITTELKOW, C. M. et al. Sustainability of rice intensification in Uruguay from 1993 to 2013. **Global Food Security**, v. 9, p. 10–18, jun. 2016.

PINTO, L. F. S.; NETO, J. A. L.; PAULETTO, E. A. Solos de várzea do sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. In: Arroz irrigado no sul do Brasil, ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica p. 75-95, 2004.

RAIJ, B. V. Conceitos. In: RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba, SP: IPNI, 2011. cap. 4, p. 81-100.

RANGEL, P PITTELKOW, C. M. et al. Sustainability of rice intensification in Uruguay from 1993 to 2013. **Global Food Security**, v. 9, p. 10–18, jun. 2016.

.H.N., et al. Base genética das cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado do Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira., Brasília, v31, n.5, p.349-357, maio de 1996 (boletim técnico).

REDDY, K. R. & PATRICK JR, W. H. Effect of alternate aerobic and anaerobic conditions on redox potential, organic matter decomposition and nitrogen loss in a flooded soil. **Soil Bio. Biochem.** Vol. 7, p 87-94, jun 1974.

ROHDE, G.M. Um Breve Histórico do Arroz. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, v. 48, nº 419, maio de 1995 (circular técnica).

SANTOS, D.T. et al. Desafios e horizontes da integração lavoura-pecuária em áreas cultivadas com arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 8., 2013, Santa Maria. Avaliando cenários para a produção sustentável de arroz: Anais. Santa Maria: UFSM; Porto Alegre: Sosbai, 2013. v. 2, p. 1644-1659.

SILVERMAN, H.; ISBELL, W. H. (EDS.). **Handbook of South American archaeology**. New York, NY: Springer, 2008.

SCHUSTER, M. Z; HARRISON, S. K; DE MORAES, A; SULC, R. M; CARVALHO, P. C. F; LANG, C. R; ANGHINONI, I; LUSTOSA, S. B. C; GASTAL, F. Effects of crop rotation and sheep grazing management on the seedbank and emerged weed flora under a no-tillage integrated crop-livestock system. **The Journal of Agricultural Science** 1–11, set. 2018

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO- SOSBAI. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. *In*: REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 32., 2018, Farroupilha, RS. **Anais** [...] Cachoerinha: SOSBAI, 2018. 205 p.

SOUSA, R. O. *et al.* Solos alagados (Reações de REDOX). *In*: MEURER, E. J. (ed.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Evangraf, 2015. p. 201- 242.

STEINMETZ, S.; CUADRA, S. V.; ALMEIDA, I. R., MAGALHÃES Jr., A. M.; FAGUNDES, P. R. R. Graus-dia para atingir estádios fenológicos de subgrupos de cultivares de arroz irrigado por inundação. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.29, e026815, 2021.

STRECK, E. V. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. 3. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2018. 252 p.

TERRA, J. *et al.* Rotaciones arroceras: resumen de resultados productivos en las primeras zafras. **Série Actividades de Difusión**. Treinta y três – Uy. Cap. 9, n. 735, p. 3. 2014 (Boletim técnico).

TSENG, M. C. *et al.* Towards actionable research frameworks for sustainable intensification in high-yielding rice systems. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 9975, dez. 2020.

WANG, J. L. *et al.* Balanced fertilization over four decades has sustained soil microbial communities and improved soil fertility and rice productivity in red paddy soil. **Science of The Total Environment**, v. 793, p. 148664, nov. 2021.

XIONG, Q. *et al.* Response to Nitrogen Deficiency and Compensation on Physiological Characteristics, Yield Formation, and Nitrogen Utilization of Rice. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1075, 24 jul. 2018.