

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
DEPARTAMENTO DE SOLOS**

**CAPACIDADE DE PREDIÇÃO DA MINERALIZAÇÃO DE N PELO
MÉTODO DIRECT STEAM DISTILLATION (DSD) EM SOLOS DE
VÁRZEA DO RS**

Gerson Laerson Drescher
Leandro Souza da Silva

Santa Maria, maio de 2014.

RESUMO

O arroz irrigado é uma das principais culturas do estado do Rio Grande do Sul, sendo este o maior produtor nacional. Dos nutrientes requeridos pela cultura, o nitrogênio (N) é um dos mais importantes em virtude das altas respostas em produtividade e da complexidade dos fatores que influenciam seu aproveitamento pelo arroz irrigado, bem como pela parcela ocupada no custo de produção. O manejo da adubação nitrogenada nos estados do RS e SC é realizado por meio de tabelas de interpretação das doses de N, que são baseadas em classes de teor de matéria orgânica do solo (MOS), a partir da qual se obtêm as faixas de interpretação de disponibilidade de N, tanto para solos de sequeiro quanto para solos alagados. A MOS é considerada a mais importante fonte de N às culturas, que é disponibilizado, entre outros nutrientes, após mineralização da MOS pela atividade microbiana. No entanto, a produtividade do arroz irrigado é muito variável com o teor de MOS, sendo obtidos tanto baixos como elevados rendimentos relativos do arroz irrigado em solos que apresentam baixos ou altos teores de MOS, independente da adubação nitrogenada aplicada. Métodos de análise do solo que possam estimar frações lábeis de N, prontamente mineralizáveis e que serão disponibilizados durante o ciclo da cultura, podem auxiliar para a obtenção de uma melhor correlação entre o teor de MOS e a produtividade da cultura do arroz irrigado. Diante disso, pretende-se desenvolver o presente estudo, que visa testar a capacidade do método de análise de solo Direct Steam Distillation (DSD) em prever a mineralização do N em diferentes solos de várzea do RS. Para tanto, serão conduzidos três experimentos utilizando solos de várzea com diferente constituição química, física e mineralógica, sendo o primeiro experimento constituído da análise dos solos pelo método DSD visando obter o índice de N mineralizável, o segundo experimento irá determinar a mineralização de N por meio de incubação anaeróbia dos solos, e no terceiro experimento serão cultivadas plantas de arroz irrigado em casa de vegetação, para determinar a absorção e acúmulo de N pelas plantas nos solos selecionados a partir dos resultados dos dois primeiros experimentos.

Palavras chave: matéria orgânica do solo, solos alagados, arroz irrigado

EQUIPE TÉCNICA

Eng. Agr. Leandro Souza da Silva¹
Eng. Agr. Gerson Laerson Drescher²

EQUIPE DE APOIO

Colegas, bolsistas e voluntários do Departamento de Solos da UFSM.

¹ Eng.Agr., Dr., professor associado do Departamento de Solos, UFSM.

² Eng Agr., mestrando do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, UFSM.

1. INTRODUÇÃO

O arroz irrigado é uma das culturas mais relevantes para o Estado do Rio Grande do Sul, sendo responsável pela produção de cerca de 8 milhões de toneladas em uma área de aproximadamente 1,07 milhões de ha na safra 2012/2013, soma que representou, aproximadamente, 68,7% da produção nacional (IRGA, 2013). A produtividade média da lavoura orizícola do RS vem aumentando a cada safra, apresentando produtividades entre as maiores do Brasil (aproximadamente 7.500 kg ha⁻¹, na safra 2012/2013) (IRGA, 2013). Os sucessivos aumentos na produtividade da cultura do arroz irrigado estão atrelados a utilização racional dos fatores de produção, como o clima, manejo da irrigação, controle de arroz vermelho, genética, com destaque para o manejo da fertilidade.

O manejo da fertilidade do solo visa à nutrição mineral das plantas, considerando o fornecimento de nutrientes pelo solo, bem como o fornecimento daqueles nutrientes requeridos pela planta e não disponibilizados pelo solo via a adubação. Boa parte dos nutrientes que as plantas absorvem provém das reservas do solo, deste modo, o desafio é conhecer o potencial do solo em fornecer os nutrientes necessários às plantas, contribuindo para a minimização dos custos de adubação e maximização do aproveitamento do recurso natural disponível.

Dos nutrientes essenciais às plantas, o nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade, sendo um dos mais importantes fatores que afetam a produção do arroz (MARUMOTO, 1986). A recomendação da adubação nitrogenada para as culturas nos Estados do RS e SC é realizada com base no teor de matéria orgânica do solo (MOS), tanto para cultivos de sequeiro como para cultivos em solos alagados (CQFS-RS/SC, 2004). Desta forma, a MOS é considerada a mais importante fonte de N às culturas, que é disponibilizado, entre outros nutrientes, após mineralização da MOS pela atividade microbiana. Contudo, a produtividade do arroz irrigado é muito variável com o teor de MOS, ou seja, são obtidos tanto baixos como elevados rendimentos relativos do arroz irrigado em solos que apresentam baixos ou altos teores de MOS, independente da adubação nitrogenada aplicada. Este caso é explicado em parte pelo fato de que no solo alagado ocorrem períodos de atividade biológica em condições aeróbias e anaeróbias, os quais afetam a mineralização da MOS, e por consequência, a disponibilidade de N às plantas, dificultando a estimativa da dose de fertilizante nitrogenado a ser indicada para a cultura do arroz irrigado por inundação a partir do teor de MOS.

Diante dessa problemática, diversos estudos vêm sendo dirigidos visando desenvolver métodos e parâmetros da planta e/ou do solo mais eficientes em estimar a disponibilidade de N ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, ou mesmo antes da implantação. No entanto, dos

métodos desenvolvidos até o momento, nenhum conseguiu se adequar a rotina dos laboratórios e ao mesmo tempo apresentar boa correlação com o rendimento das culturas. Neste sentido, será realizado um estudo visando avaliar a capacidade do método DSD em determinar o N que será mineralizado em solos de várzea do estado do RS.

2. JUSTIFICATIVA

O presente projeto se justifica pela importância da cultura do arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul, maior produtor nacional, contemplando, aproximadamente, 68,7% do que é produzido no país. O nitrogênio é um dos principais nutrientes requeridos pela cultura, apresentando as maiores respostas em produtividade, além de ser responsável por uma parcela significativa do custo de produção da cultura. A recomendação da adubação nitrogenada para o arroz irrigado é realizada com base no teor matéria orgânica do solo (MOS) e expectativa de resposta à adubação. No entanto, não ocorre um bom ajuste entre o teor de MOS e a resposta do arroz irrigado à adubação nitrogenada, motivo pelo qual diversos estudos tem sido dirigidos visando entender melhor processos relacionados à dinâmica da mineralização de N a partir da MOS, bem como no desenvolvimento de métodos de análise do solo visando prever a quantidade de N que será mineralizada.

Dos métodos desenvolvidos até o momento, muitos não se adequam a rotina dos laboratórios, outros requerem equipamentos caros ou possuem baixa correlação com o rendimento das culturas. Recentemente, foi desenvolvido por Bushong et al. (2008) um método de análise de solo denominado de Direct Steam Distillation (DSD), que visa determinar uma fração de N lábil, que é prontamente mineralizada pela população microbiana do solo, disponibilizando o N durante o ciclo da cultura. Em estudos realizados na University of Arkansas, no desenvolvimento de um projeto de validação denominado de Nitrogen Soil Test for Rice (N-STaR), o método DSD tem sido utilizado para o desenvolvimento de curvas de rendimento da cultura do arroz ao nitrogênio, apresentando resultados promissores em uso racional de fertilizantes e produtividade da cultura.

Assim, diante do que foi apresentado, se percebe a necessidade de realizar estudos e desenvolver sobre novos métodos de análise, como o DSD, que possam determinar o N que será fornecido para a cultura a partir da MOS, buscando uma melhor correlação com a produtividade do arroz irrigado.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Importância do nitrogênio e sua relação com a matéria orgânica do solo

O nitrogênio possui papel fundamental no metabolismo vegetal, por participar, diretamente, na biossíntese de proteínas e clorofilas (ANDRADE et al., 2003). O N é o nutriente que tem recebido maior atenção da pesquisa em todo o mundo, em virtude de ser o nutriente que proporciona maiores respostas em produtividade e da complexidade dos fatores que influenciam seu aproveitamento pelo arroz. Neste particular, vale ressaltar a ocorrência de grande variabilidade em sua eficiência agrônômica, ou seja, na capacidade de promover aumento de produtividade por unidade de nutriente adicionado ao solo (SCIVITTARO; MACHADO, 2004).

O ciclo do N está sujeito a uma complexa ordem de mecanismos regulatórios que envolvem fatores físico-químicos e biológicos e, principalmente, reações de oxirredução. A grande maioria das transformações do N é mediada metabolicamente por microrganismos autotróficos e heterotróficos, os quais são fortemente influenciados pelas condições físico-químicas prevalentes no ambiente (HERBERT, 1999). A grande reserva de N no solo é fundamentalmente de natureza orgânica, estando sujeita às transformações que determinam as relações de equilíbrio entre o N orgânico e mineral e as necessidades de plantas e microrganismos (AITA et al., 2003). O nitrogênio disponível do solo é praticamente todo proveniente da decomposição e mineralização da MOS, realizada por microrganismos que transformam o N orgânico nas formas amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-), aproveitáveis pelas plantas (SCIVITTARO; MACHADO, 2004).

A mineralização mais rápida do N orgânico adicionado ao solo tem sido atribuída mais à labilidade e recalitrância do que especificamente à estrutura dos compostos, uma vez que as formas recém-adicionadas de N orgânico e as recém-imobilizadas são rapidamente convertidas nas formas presentes na MOS (ZECH et al., 1997). Além do caráter lábil ou recalitrante do N orgânico, as condições edáficas como textura, estrutura, temperatura, umidade, acidez/alcalinidade, fertilidade do solo interferem na cinética de mineralização do N orgânico (ZECH et al., 1997; GONCALVES et al., 2001). Por este motivo, cada solo possui capacidade intrínseca de fornecer N às plantas a partir da decomposição da MOS, em quantidades e taxas diferentes, que são dependentes do tipo de solo, da atividade microbiana e das condições ambientais (RHODEN et al., 2006a).

3.2 Diferenças na capacidade de mineralização de N em solos de sequeiro e alagados

Em solos alagados, a decomposição anaeróbia da MOS ocorre de forma mais lenta do que em solos drenados porque um grupo menor e menos eficiente de bactérias realizam essa função nestas condições (VAHL, 1999). Em consequência do alagamento, o suprimento de O_2 para o solo se torna bastante lento devido à baixa taxa de difusão deste gás na água (cerca de 10.000 vezes menor do que no ar) provocando uma mudança da microbiota do solo que passa a ser, predominantemente anaeróbia facultativa e obrigatória (SOUSA et al., 2009). Diferente da respiração aeróbia, para estes microrganismos a decomposição da matéria orgânica se dá por respiração anaeróbia e fermentação, que ocorre de forma mais lenta do que a decomposição aeróbia, o receptor de elétrons deixa de ser o O_2 e os produtos finais da decomposição da matéria orgânica também são distintos em solos bem drenados e em solos alagados. Os principais compostos oxidados do solo utilizados pelos microrganismos anaeróbios são o nitrato, óxidos de manganês, óxidos de ferro e sulfatos, entre outros, que são reduzidos a nitrogênio molecular livre (N_2), Mn^{+2} , Fe^{+2} e sulfetos, respectivamente (BARTLETT; JAMES, 1993).

Os microrganismos anaeróbios também podem utilizar como receptor final de elétrons compostos orgânicos do solo, que são produtos orgânicos intermediários das rotas metabólicas, no processo denominado de fermentação. Este tipo de metabolismo não envolve o ciclo de Krebs e nem a cadeia respiratória, sendo muito pouco eficiente energeticamente (AITA et al., 2003). Este tipo de metabolismo transforma compostos orgânicos complexos em compostos orgânicos mais simples, tais como ácidos orgânicos, álcoois e mercaptanos, entre outros (SOUSA et al., 2000). Os microrganismos fermentadores realizam oxidação incompleta de açúcares e, desta forma, grande parte da energia ainda vai estar presente nos produtos finais da fermentação, o que explica a baixa eficiência metabólica dos microrganismos fermentadores (RHODEN, 2005).

A ausência de O_2 interrompe o processo de nitrificação, favorecendo o acúmulo de NH_4^+ no ambiente alagado, podendo ser retido na CTC do solo, absorvido pelas plantas, imobilizado na biomassa e/ou sofrer nitrificação em regiões aeróbias (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). O excesso de oxigênio molecular que chega às raízes das plantas através dos tecidos denominados de aerênquimas, para a respiração radicular, pode ser liberado na rizosfera, podendo estimular a atividade de microrganismos nitrificadores, aumentando o processo de nitrificação no solo (HERBERT, 1999). Nestas zonas oxidadas, pode ocorrer a formação de NO_3^- , que por sua vez pode ser difundido para

regiões de anaerobiose, sofrendo o processo de desnitrificação, no qual é reduzido pelos microrganismos anaeróbicos passando a óxido nitroso (N_2O) e N_2 voláteis, que são perdidos para a atmosfera (PONNAMPERUMA, 1972).

A velocidade de desnitrificação depende, principalmente, da presença de material orgânico de fácil decomposição, do tipo de microrganismos envolvidos, do pH do solo e da temperatura (VAHL; SOUSA, 2004). O NO_3^- pode ser imobilizado na biomassa microbiana, lixiviado em solos que apresentam alguma permeabilidade, absorvido pelas plantas, ou difundir-se à massa de solo que está em anaerobiose e sofrer desnitrificação. Além disso, ocorrem outras transformações relacionadas ao ciclo do N, principalmente pela alteração da população microbiana do solo, que nos solos de várzea é composta principalmente pelos microrganismos que sobrevivem fazendo respiração anaeróbica ou fermentação, o que resulta numa decomposição da MOS e consequente liberação deste às plantas de forma diferente do que acontece em sistemas de sequeiro (POCOJESKI, 2011).

Mesmo sendo a decomposição da MOS mais rápida em condições aeróbicas do que em condições anaeróbicas, o N inorgânico pode ser liberado em maior quantidade e mais rapidamente em condições anaeróbicas pelo fato que existe uma menor imobilização do N na biomassa microbiana, relativamente ao N mineralizado, resultando em menor síntese de material celular e, conseqüentemente, menor crescimento microbiano (PONNAMPERUMA, 1972). Dessa forma, a quantidade de N que o solo pode fornecer à cultura depende da ação conjunta de todas as reações e que irá balizar a quantidade de fertilizante nitrogenado que deve ser adicionado ao solo para atender a necessidade da cultura.

3.3 Falta de correlação entre teor de MOS e produtividade de arroz

O teor de MOS é a base para o manejo da adubação nitrogenada nos estados do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2004) pelo fato de grande parte do N (cerca de 95%) estar no solo na forma orgânica (CAMARGO et al., 1999). É através da decomposição da MOS que o N é liberado sob a forma mineral em diferentes velocidades, dependendo da sua recalcitrância e resistência ao ataque microbiano (CAMARGO et al., 1997).

As tabelas de interpretação das doses de N para a adubação nitrogenada são baseadas em classes de teor de MOS, a partir da qual se obtêm as faixas de interpretação de disponibilidade de N. No entanto, para uma mesma expectativa de produtividade de arroz, as doses de nitrogênio a serem adicionadas ao solo, são muito próximas para as diferentes faixas de interpretação. Este fato pode ser explicado em parte, pela variação da produtividade de arroz independente da adubação mineral, podendo apresentar

diferentes rendimentos relativos, tanto em solos com baixos ou com altos teores de MOS, prejudicando a predição da recomendação de adubação nitrogenada (SCIVITTARO; MACHADO, 2004). Além disso, a produtividade e a resposta do arroz irrigado à adubação nitrogenada são muito dependentes do clima, principalmente com relação à temperatura e à radiação solar (VAHL, 1999), o que pode superestimar ou subestimar a resposta da cultura (RHODEN 2005).

Esta limitação do teor de MOS para predição da adubação nitrogenada para o arroz irrigado pode também estar, teoricamente, relacionada aos ciclos de oxidação e redução que os solos sofrem para o cultivo de arroz irrigado (SOUSA, 2001), à presença de microrganismos fixadores de N que podem contribuir com fornecimento de N às plantas (HÜBNER, 2004), à composição da MOS em função dos diferentes sistemas de manejo do solo (SANTOS, 2003), ao tipo de população microbiana presente nestes ambientes e sua capacidade de decompor a MOS (VAZOLLER et al., 2008), entre outros, afetando a real contribuição da MOS na quantidade de N mineral acessada pelas plantas durante o cultivo do arroz irrigado por alagamento.

Nos solos alagados, a entrada da água faz com que ocorram alterações de ordem física, química e biológica, as quais afetam a dinâmica da decomposição da MOS, bem como o ciclo do N, o que dificulta a predição da dose de fertilizante nitrogenado a ser indicado para o arroz irrigado. Dessa forma, a MOS perde a capacidade de associação com o teor de N absorvido pelas plantas ou com o rendimento relativo do arroz irrigado, diferentemente do que ocorre em solos de sequeiro (RHODEN et al., 2006b). Em função disso, disso, diversos são os resultados encontrados na literatura sobre relação de MOS, N mineralizado e resposta da cultura do arroz à adubação nitrogenada. Cassman et al. (1996) observaram que não houve correlação entre os teores de C orgânico, N total do solo e o N absorvido por plantas de arroz irrigado. Da mesma forma, Zhu et al. (1984) relatou correlação não significativa entre o N absorvido por plantas de arroz irrigado e o teor de N total do solo. No entanto, Dolmat et al. (1980) encontraram significativa, mas baixa, correlação entre o teor de N total do solo e a produção de grãos de arroz irrigado. Já Pöttker e Tedesco (1979) e Li et al. (2003), avaliando a mineralização anaeróbia do N, encontraram correlação significativa entre o teor de C orgânico do solo e o N mineralizado pelo solo. No entanto, esse fato não necessariamente se reflete em N absorvido pelas plantas neste ambiente.

Como todos os processos que ocorrem no solo após o alagamento são dinâmicos e interligados, a avaliação e quantificação do nitrogênio no solo disponível às plantas são muito complexas e difíceis para a cultura do arroz (FAGERIA; STONE, 2003). O mesmo fato é observado no estabelecimento da probabilidade de resposta da cultura à aplicação de fertilizantes nitrogenados, o que explica em parte, os resultados de pesquisa com aplicação de N para o arroz, que são muito variáveis e não permitem conclusões definitivas, ou

mesmo satisfatórias, para recomendar precisamente as quantidades de N para a cultura (SILVA et al., 2007).

Nesse sentido, algumas alternativas têm sido apontadas para aprimorar o manejo da adubação nitrogenada, como a avaliação de parâmetros da planta, dentre as quais se pode salientar o estabelecimento do estado nutricional adequado (teor de N no tecido foliar) das plantas (SILVA et al., 2007), a avaliação do teor de clorofila das folhas, por meio de leituras SPAD (PENG et al., 1993), cartela de cores (IRRI, 1996), que visam determinar o estado nutricional da cultura para avaliar a necessidade de uma eventual complementação com adubação. No entanto, ao avaliar a diagnose foliar, Scivittaro et al. (2005) e Silva et al. (2007) encontraram falta de correlação entre os índices de clorofila da fase vegetativa e a resposta das plantas em produtividade de grãos de arroz. Assim como ocorre com a determinação do N disponível no solo, o estabelecimento de doses de N a aplicar a partir do diagnóstico do estado nutricional da planta também é uma etapa complexa, pois é influenciada por uma série de fatores, como estágio de desenvolvimento da cultura, tipo e quantidade de resíduos vegetais na lavoura, tipo de preparo do solo, condições climáticas, genótipo utilizado e teto de produtividade a ser alcançado (ARGENTA et al. 2003).

3.4 Estudos desenvolvidos para predição da mineralização de N e sua disponibilidade para as culturas

Diante da carência de informações sobre a quantidade de N mineralizado a partir da MOS e a problemática da falta de correlação entre teor de MOS e a produtividade da cultura de arroz irrigado, estudos vêm sendo dirigidos visando desenvolver métodos e parâmetros do solo mais eficientes em estimar a disponibilidade de N ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, ou antes da implantação.

Entre os métodos laboratoriais desenvolvidos para a predição da mineralização de N, estão as incubações aeróbicas e anaeróbicas, e, análises químicas que visam extrair frações de N mais lábeis da MOS, simulando a quantidade de N mineralizada durante um ciclo de cultivo (GARCIA; DAVEREDE, 2007). O método original de incubação aeróbica de 30 semanas foi desenvolvido por Stanford e Smith (1972), possui boa correlação com o N mineralizado em campo (CURTIN; McCALLUM, 2004); entretanto, é pouco prático para a adoção dos laboratórios. Neste sentido, foram desenvolvidos métodos de incubação anaeróbica de uma semana, que também tem apresentado correlações com o N mineralizado em condições controladas (KEENEY; BREMNER, 1966; DRESCH et al., 2003). Entretanto, pesquisadores da Pensilvânia (FOX; PIEKIELEK, 1984) e em Minnesota (THICKE et al., 1993)

não encontraram correlação entre incubação anaeróbica e disponibilidade de N para a cultura do milho.

Entre as análises químicas se encontram as extrações de amônio do solo por meio de ácidos, água quente e sais. Estes métodos são rápidos e, em alguns casos, tem apresentado boas correlações com o N disponível durante cultivos sob condições controladas de água e temperatura (GARCIA; DAVEREDE, 2007). Mengel et al. (1999) encontraram que o N amino extraível por sais ou electroultrafiltração é o melhor indicador para predizer o N potencialmente mineralizável. Entretanto, esses métodos estão disponíveis a mais de 20 anos e nunca foram adotados em massa pelo fato de não apresentarem resultados de campo confiáveis (CURTIN; McCALLUM, 2004).

Requisitos para um método de análise de N do solo ser bem sucedido incluem rapidez, eficiência e a capacidade de correlacionar a absorção de N e o rendimento da cultura. Os métodos biológicos oferecem a maior capacidade preditiva para a estimativa de nitrogênio potencialmente mineralizável, mas são demorados e inconsistentes para a previsão de resposta da cultura (STEVENSON; COLE, 1999). Os métodos químicos oferecem uma alternativa atraente devido ao tempo de análise relativamente curto, uma elevada reprodutibilidade e correlação com estimativas biológicas de N potencialmente mineralizável. Contudo, infelizmente o interesse na abordagem química para um teste de N do solo tem sido limitada pela visão predominante de que nenhum método químico pode extrair com precisão formas de orgânicas de N-lábil (WANG et al., 2001).

Khan et al. (2001) reacenderam a busca de um método químico que poderia predizer com precisão a resposta das culturas ao N com o desenvolvimento da Análise de Nitrogênio do Solo de Illinois (ISN'T). Esse método foi desenvolvido para quantificar o N lábil de uma amostra de solo submetida à hidrólise alcalina, requerendo baixa tecnificação e sendo completada em um dia. Este método de difusão foi capaz de quantificar formas de N alcalino hidrolisáveis, principalmente sob a forma de açúcares aminados (por exemplo, glucosamina), e aminoácidos (por exemplo, glutamina) (KWON et al., 2009; ROBERTS et al., 2009), e prever quando o milho responderia à aplicação do fertilizante nitrogenado. O ISN'T é uma estimativa da fração de N que poderá mineralizar durante o ciclo da cultura, entretanto não pode predizer a quantidade de N inorgânico imediatamente disponível em dado momento, uma vez que a taxa de mineralização depende de fatores como a umidade e temperatura (GARCIA; DAVEREDE, 2007).

Muitos produtores de Illinois já tem adotado o ISN'T e vários laboratórios comerciais estão oferecendo o serviço de análise (GARCIA; DAVEREDE, 2007). Williams et al. (2005) observaram forte correlação entre a dose ótima economicamente de N e o ISN'T para a Carolina do Norte; entretanto nos demais estados dos Estados Unidos, o ISN'T não apresentou resultados tão bons como para Illinois. Os resultados promissores encontrados em Illinois geraram interesse por analisar o ISN'T como método de diagnóstico para a

fertilização nitrogenada de milho na Argentina. As análises preliminares encontrados em Santa Fe geraram boas perspectivas para a utilização desse teste como método de diagnóstico para a fertilização nitrogenada (GARCIA; DAVEREDE, 2007).

Embora o ISN'T tenha se mostrado promissor para uso em testes de solo convencional, surgiu a crítica devido à alta variabilidade da amostra e inconsistências com os resultados (KLAPWYK; KETTERINGS, 2005; SPARGO et al., 2009). Várias modificações foram desenvolvidas para resolver os problemas iniciais com o ISN'T, incluindo rotação da amostra (15N Serviço de Análise, 2004), griddles fechados (KLAPWYK E KETTERINGS, 2005) e o uso de uma incubadora (SPARGO et al., 2009). Entretanto, o trabalho realizado por Bushong et al. (2008) levou ao desenvolvimento de uma técnica de destilação direta a vapor como uma técnica alternativa, denominada em inglês de Direct Steam Distillation (DSD). A técnica DSD tem mostrado uma forte correlação com o método de difusão ISN'T, reduzindo o tempo de análise e variabilidade (ROBERTS et al., 2009). Técnicas de destilação direta a vapor têm se mostrado como alternativas viáveis e promissoras ao ISN'T baseando-se em dados apresentados por Bushong et al. (2008), onde correlações significativas foram encontradas com DSD e ISN'T, bem como com incubação anaeróbica.

A correlação bem sucedida e calibração de um teste N-base do solo para o arroz irrigado produzido na metade-Sul dos EUA, tem sido o foco de pesquisas durante muitos anos. A primeira tentativa, foi realizada por Wilson et al. (1994) sendo incapaz de prever as necessidades de N para o arroz em um ambiente de campo, fato atribuído à analítica método utilizado ou a profundidade de amostragem do solo.

Nesta mesma busca, visando melhorar o manejo da adubação nitrogenada para os produtores de arroz de Arkansas, uma forte ênfase na capacidade do solo para fornecer N tem sido considerada. Pesquisadores da University of Arkansas têm desenvolvido o primeiro teste N-base do solo para arroz produzido em solos argilo-siltosos chamado Nitrogen Soil Test for Rice (N-STaR) (ROBERTS et al., 2010, 2011), cujo objetivo é estimar a quantidade de N que o solo pode fornecer durante o período de crescimento (estimado por meio do teste DSD) e ajustar doses da adubação nitrogenada para maximizar produção de arroz irrigado. O trabalho desenvolvido por Roberts et al. (2011) foi bem sucedido no desenvolvimento de um método de destilação a vapor direto (BUSHONG et al, 2008;. ROBERTS et al, 2009), que está altamente correlacionada com a absorção de N total de arroz e o rendimento relativo da cultura. O sucesso no desenvolvimento de uma curva de calibração foi alcançado e resultou em um elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,89$), mas para esse resultado ser alcançado, os solos tiveram de ser amostrados a uma profundidade de 45 cm, que aparece ser a profundidade de enraizamento eficaz do arroz cultivado em solos argilo-siltosos em Arkansas (ROBERTS et al., 2011) .

Semelhante à pesquisa apresentado por Williams et al, (2007), onde os solos foram separados com base na classificação de drenagem, a capacidade de N - STaR de prever doses de N específicas do local está ligada à textura do solo. A influência da textura do solo em N alcalino hidrolizável exige o desenvolvimento de diferentes curvas de calibração com base na textura do solo (ROBERTS et al., 2011). Diante dessa problemática, pesquisadores da University of Arkansas realizaram estudos e atualmente estão disponíveis aos produtores dois protocolos específicos (desde amostragem do solo até a recomendação da adubação nitrogenada), sendo um referente a produção de arroz em solos arenosos e argilo-siltosos, e outro para a produção em solos argilosos. Deste modo, após a análise da amostra de solo no laboratório, um relatório é enviado para o solicitante contendo as recomendações de doses de nitrogênio segundo N-STaR. Também são fornecidas aos produtores as recomendações de taxas de N correspondentes a três níveis de rendimento: econômico, ótimo e máximo, uma vez que, o N - STaR não é projetado para aumentar a produção de arroz, mas para aumentar a rentabilidade do produtor através de recomendações de taxas específicas de N.

Assim, há uma constante busca de métodos ou de outros parâmetros indicativos da disponibilidade de N no solo que estejam correlacionados com as exigências das culturas, visando as melhores respostas entre o fertilizante nitrogenado e a produção de grãos.

4. HIPÓTESES

- A fração de N-lábil obtida pelo método DSD possui boa correlação com o N mineralizado nos solos de várzea do RS, podendo este ser um bom indicador do N disponibilizado a partir da MOS para a cultura do arroz irrigado durante o seu ciclo de crescimento;
- Solos com teor de MOS similares, mas com diferente textura e/ou mineralogia podem apresentar taxas de mineralização distintas, disponibilizando diferente quantidade de N, o que dificulta a predição da mineralização de N pelo método DSD.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivos gerais

O presente trabalho objetiva avaliar a capacidade de extração de formas de N alcalino hidrolisável do solo pelo método de análise Direct Steam Distillation (DSD) e realizar um prognóstico da capacidade de mineralização de N em solos de várzea do RS, com diferente mineralogia, textura e teor de matéria orgânica.

5.2 Objetivos específicos

- Avaliar a capacidade do extrator alcalino em determinar frações lábeis da MOS em solos de várzea do estado do RS;
- Correlacionar a fração de N-lábil extraído pelo método DSD com o N mineralizado em incubação anaeróbia e o N absorvido pelas plantas de arroz, para determinar a eficiência do método de análise DSD em prever a mineralização de N;
- Avaliar o efeito da textura e mineralogia do solo sobre a extração de formas N-lábil e o prognóstico da mineralização de N.

6. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo será baseado em três experimentos, onde o primeiro será realizado utilizando o método DSD para predizer a capacidade de mineralização de N em diferentes solos de várzea do RS. O segundo consta de um experimento de incubação anaeróbia utilizando os mesmos solos, para avaliar a mineralização de N. Com base nos resultados obtidos nos dois primeiros experimentos, serão selecionados alguns solos para execução do terceiro experimento, que será constituído pelo cultivo de plantas de arroz em casa de vegetação, visando avaliar a absorção e acúmulo de N nos tecidos das plantas, bem como a produção de massa verde e seca. Assim, busca-se fazer uma correlação entre o teor de N mineralizado previsto pelo método DSD, o teor de N que será mineralizado no experimento de incubação e o que será absorvido pelas plantas e convertido em massa seca.

6.1 Experimento 1: Avaliação da predição da mineralização de N pelo método DSD

O estudo será conduzido no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Os solos utilizados no presente estudo serão selecionados em áreas representativas em termos de cultivo de arroz no estado do RS, abrangendo as principais regiões produtoras, bem como apresentarem boa amplitude em características químicas, físicas e mineralógicas, fatores que afetam a capacidade de extração e predição da mineralização de N.

Nos solos selecionados para o estudo serão coletadas amostras na camada de 0 - 20 cm, conforme recomendação do Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS RS/SC, 2004) para a cultura do arroz irrigado. As amostras serão secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha de 2 mm. Após o preparo do solo, será realizada uma caracterização química inicial destes solos no Laboratório de Rotina do Departamento de Solos da UFSM. Para determinação do teor de carbono orgânico e nitrogênio, será retirada uma subamostra de cada um dos solos previamente secos e peneirados, a qual será finamente moída em moinho de bolas, para posterior análise em analisador elementar (modelo FlashEA 1112, Thermo Finnigan, Milan, Itália).

O experimento para obter o índice de mineralização dos solos por meio da análise DSD será realizado conforme metodologia descrita por Bushong et al. (2008) e Roberts et al. (2009). Para tanto, será colocada 1 g de solo em um

tubo de digestão, adicionado 10 mL de NaOH a 10 M e realizada a destilação em vapor com solução indicadora de ácido bórico (H_3BO_3) (5 mL) em destilador semi-micro-Kjeldahl. Depois de 35 mL de destilado ser recolhido a quantidade de N ($N-NH_4$ + açúcares hidrolizáveis) capturado na solução indicadora será quantificada utilizando técnicas de titulação acidimétrica. O valor obtido corresponderá a fração de N-lábil que será mineralizado durante o ciclo da cultura. Os tratamentos serão constituídos pelos diferentes tipos de solo, e cada tratamento terá quatro repetições.

6.2 Experimento 2: Avaliação da mineralização do N em condições anaeróbicas

Para realização do experimento de incubação anaeróbia, serão utilizados 5 g de solo, que será acondicionado em tubos de vidro com capacidade de 35 mL, sendo posteriormente adicionados 12,5 mL de água destilada, conforme metodologia proposta por Bundy e Meisinger (1994). Os tratamentos serão compostos pelos diferentes solos na condição anaeróbica, com quatro repetições, sendo que cada tubo de vidro corresponderá a uma repetição. Posteriormente, os tubos de vidro serão colocados em séries e armazenados em incubadora tipo DBO a 40 °C.

O teor de N mineral obtido pela análise prévia dos solos em autoanalisador será considerado como tempo zero (antes da incubação). As demais avaliações do teor de N serão realizadas semanalmente, durante 05 semanas, e posteriormente aos 56, 77 e 98 dias após a instalação do experimento. Para a determinação do nitrogênio mineral a amostra (solo + água) contida nos tubos de vidro será colocada em um frasco snap-cap, onde será adicionado 12,5 mL de KCl, agitando-se por 1 hora, conforme proposto por Bundy e Meisinger (1994). Após a agitação, os frascos serão deixados para decantar durante 30 minutos. Para proceder a destilação, será utilizada uma alíquota de 20 mL, com a adição de óxido de magnésio (MgO) e Liga Devarda para a determinação do teor de nitrogênio mineral ($N-NH_4^+$ + $N-NO_3^-$ + NO_2^-), capturando o nitrogênio em ácido bórico (5mL) e titulando com ácido sulfúrico. Os métodos utilizados para a determinação do N mineral encontram-se descritos em Tedesco et al. (1995).

6.3 Experimento 3: Cultivo do arroz irrigado e avaliação do teor de N, matéria verde/seca e N acumulado na parte aérea das plantas de arroz irrigado

O experimento será conduzido na casa de vegetação do Departamento de Solos da UFSM, onde serão montados vasos com capacidade de 3L, utilizando-se 1,5 kg de solos selecionados a partir dos resultados encontrados nos dois experimentos descritos anteriormente. O delineamento utilizado será o inteiramente casualizado, com quatro repetições por tratamento. Os tratamentos serão constituídos pelo cultivo de plantas de arroz em diferentes solos de várzea do RS.

Inicialmente, sementes de arroz irrigado da cultivar Puitá Intá CL serão postas para germinar. Posteriormente, serão transplantadas 6 sementes pré-germinadas em cada vaso. Após o estabelecimento das mesmas, serão mantidas apenas quatro plantas por vaso, selecionando-se as mais desenvolvidas.

Quando as plantas atingirem o estágio V4, será aplicada uma lâmina de água de 3 cm, simulando o sistema irrigado. Ao final de 60 dias, a parte aérea das plantas será coletada em cada um dos vasos e imediatamente pesadas para avaliação da matéria verde. Posteriormente, serão secas em estufa a 65 °C até massa constante para determinação da matéria seca. Também será realizada a avaliação do teor de N total, em laboratório, através da análise química do tecido das plantas de arroz, seguindo-se a metodologia de digestão ácida, descrita por Tedesco et al. (1995). O N acumulado pelas plantas será obtido a partir do teor de N no tecido das plantas e a produção de matéria seca de cada um dos tratamentos.

6.4 Análise estatística e interpretação

A relação entre o índice de mineralização de N obtido pelo DSD, o teor de N mineralizado pela incubação anaeróbica e o conteúdo de N absorvido e acumulado pelas plantas será avaliada pela significância dos coeficientes de correlação (r) linear de Pearson. Também será avaliada a correlação de outras variáveis como textura e teor de MOS.

7. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTOS

Predizer o N mineralizado a partir da MOS em solos de várzea do RS, passo inicial para realizar ajustes na dose de fertilizantes nitrogenados, objetivando uma melhor correlação entre teor de MOS e produtividade de arroz irrigado.

8. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DAS ATIVIDADES

Atividades	2013											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Planejamento do projeto								X	X	X	X	X
	2014											
Planejamento do projeto	X	X	X									
Coleta e preparo do solo			X	X	X							
Condução de experimentos e análises laboratoriais					X	X	X	X	X	X	X	X
Tabulação dos resultados					X	X	X	X	X	X	X	X
Análise estatística								X	X	X	X	X
Interpretação dos resultados								X	X	X	X	X
Participação em eventos			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	2015											
Análises laboratoriais	X	X										
Tabulação dos resultados	X	X										
Análise estatística	X	X										
Interpretação dos resultados	X	X	X	X								
Elaboração de artigos científicos e conclusão do projeto	X	X	X	X	X	X	X					
Participação em eventos	X	X	X	X	X	X	X					

9. ORÇAMENTO CONSUMO

Itens	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Material de escritório	diversos	Diversos	800,00
Combustível	500 litros	3,05	1.525,00
Análise química de solo	20	30,00	600,00
Manutenção do veículo	Diversos	Diversos	1.000,00
Reagentes e Material de Laboratório	diversos	diversos	8.600,00
Vidraria	diversos	diversos	3.750,00
Material diverso	diversos	diversos	1.725,00
Diárias	10	200,00	2.000,00
TOTAL GERAL			20.000,00

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITA, C; HUBNER, A. P.; ANTONIOLLI, Z.I; FRIES, R.M. **Microbiologia agrícola**. Santa Maria, 2003, 121 p.
- ANDRADE, A. C.; FONSECA, D. M.; QUEIROZ, D. S.; SALGADO, L. T.; CECON, P. R. Adubação nitrogenada e potássica em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, Edição especial, p. 1643-1651, 2003.
- ARGENTA, G. **Monitoramento do nível de nitrogênio na planta como indicador da adubação nitrogenada em milho**. 2001. 112 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- BARTLETT, R. J.; JAMES, B. R. Redox chemistry of soil. **Advances in Agronomy**, New York, v. 50, p. 151-208, 1993.
- BUNDY L. G.; MEISINGER, J. J. (1994). Nitrogen availability indices. In: WEAVER, R.W.; A GLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.' WOLLUM, A., (Eds.). **Methods of soil analysis**. Part 2. Microbiological and biochemical properties. Soil Science Society of America. Madison, p.951-984.
- BUSHONG, J.T.; ROBERTS, T.L.; ROSS, W.J.; NORMAN, R.J.; SLATON, N.A.; WILSON, C.E. Evaluation of distillation and diffusion techniques for estimating hydrolyzable amino sugar-nitrogen as a means of predicting N mineralization. **Soil Science Society of America Journal**, v. 72, p. 992–999, 2008.
- CASSMAN, K.G.; DOBERMANN, P.C.; STA CRUZ, P.C. et al. Soil organic matter and the indigenous nitrogen supply of intensive irrigated rice systems in the tropics. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.182, n. 2, p.267-278, 1996.
- CAMARGO, F. A. O.; GIANELLO, C.; C. VIDOR. Potencial de mineralização do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, 21:575-579, 1997.
- CAMARGO, F. A., O.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J. Nitrogênio orgânico do

solo. In: CAMARGO, F.A., O., SANTOS, F.A. (eds) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**, 1. ed. Porto Alegre, Gênese, 1999, p.117-137.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: NRS/SBCS, 2004. 400 p.

CURTIN, D.; McCALLUM, F. M. Biological and chemical assays to estimate nitrogen supplying power of soils with contrasting management histories. **Australian Journal of Soil Research**, v. 42, p. 737-747, 2004.

DERSCH, G.; PFEFFER, M.; DANNEBERT, O. H. Determination of the N mineralization potential of different soils by anaerobic incubation as calibrated in a pot-experiment. **Bodenkultur**, v. 42, p. 69-81, 2003.

DOLMAT, M.T.; PATRICK, W.H.; PETERSON, F.J. Relation of available soil nitrogen to rice yield. **Soil Science**, Baltimore, v.129, n. 4, p.229-237, 1980.

FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. Manejo do Nitrogênio. In: FAGERIA, N.K.; STONE, L.F.; SANTOS, A.B. dos. **Manejo da Fertilidade do Solo para o Arroz Irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003, p.51-94.

FOX, R. H.; PIEKIELEK, W. P. Relationships among anaerobic mineralized nitrogen, chemical indexes, and nitrogen availability to corn. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, p. 1087-1090, 1984.

GARCIA, F. O.; DAVEREDE, I. C. Diagnóstico para recomendação de adubação nitrogenada em culturas de interesse agrônomo. In: YAMADA, T.; STIPP, S. R., VITTI, A. G. C. **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. International Plant Nutrition Institute – Brasil. Piracicaba – SP, 2004, cap. 8, p. 177 - 320.

GEYPENS, M. & VANDERDRIECHE, H. Advisory systems for nitrogen fertilizer recommendation. **Plant Soil**, The Hague, 181:31-38, 1996.

HERBERT, R. A. Nitrogen cycling in coastal marine ecosystems. **FEMS Microbiology Reviews**, v.23, p. 563-590, 1999.

HÜBNER, A.P. **Identificação de bactérias diazotróficas endofíticas do grupo bacillus associadas a raízes de plantas de arroz irrigado**. 2004. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

IRGA. **Instituto Rio Grandense do Arroz**. Disponível em: <URL: http://www.irga.rs.gov.br/upload/20131024101611producao_rs_e_brasil.pdf. Acesso em: 29 Abril. 2014.

IRRI. Use of leaf color chart (LCC) for N management in rice. **Crop Resource Management. Network Technology**. Brief 2. IRRI, Manila, Philippines, 1996.

JANSSEN, B.H. Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. **Plant Soil**, The Hague, 181:39-45, 1996.

KEENEY, D. R.; BREMNER, J. M. Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability. **Agronomy Journal**, v. 58, p. 498-503, 1966.

KHAN, S.A.; MULVANEY, R. L.; HOEFT, R.G. A simple soil test for detecting sites that are nonresponsive to nitrogen fertilization. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.1751–1760, 2001.

KLAPWYK, J.H.; KETTERINGS, Q.M. Reducing analysis variability of the Illinois soil nitrogen test with enclosed griddles. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, p. 1129–1134, 2005.

KWON, H.Y.; HUDSON, R.J.M.; MULVANEY, R.L. Characterization of the organic nitrogen fraction determined by the Illinois Soil Nitrogen Test. **Soil Science Society of America Journal**, v. 73, p.1033–1043, 2009.

LI, H.; HAN, Y.; CAI, Z. Nitrogen mineralization in paddy soils of the Taihu Region of China under anaerobic conditions: dynamic and model fitting. **Geoderma**, Amsterdam, v.115, n. 3, p.161-175, 2003.

MARUMOTO, T. Microbial nitrogen fixation and its availability to rice plants as revealed with the use of ¹⁵N in Japan. In: Tropical Agriculture Research Center (ed) **Behavior of nitrogen in paddy soils and rice plants. A review on ¹⁵N studies in Japan**. v.20, n.2, 1986, p. 108-114.

MENGEL, K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. **Plant Soil**, The Hague, 181:83-93, 1996.

MENGEL, K. ; SCHNEIDER, B.; KOSEGARTEN, H. Nitrogen compounds extracted by eletroultrafiltration (EUF) or CaCl₂ solution and their relationships to nitrogen mineralization in soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 162, p. 139-148, 1999.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2^a Ed. Lavras, UFLA, 2006. 729p.

PENG, S.; GARCÍA, F.V.; LAZA, R.C.; CASSMAN, K.G. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, n.5, p.987-990, 1993.

POCOJESKI, E. **Disponibilidade do nitrogênio em solos de várzea e parâmetros da planta para avaliação nutricional da cultura do arroz irrigado**. 2011, 85p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

PONNAMPERUMA, F.N. **The chemical of submerged soils**. Advances in agronomy. v.24, p.29-96. 1972.

PÖTTKER, D.; TEDESCO, M.J. Efeito do tipo e tempo de incubação sobre a mineralização da matéria orgânica e nitrogênio total em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, n. 1, p.20-24, 1979.

RHODEN, A., C. **Potencial de mineralização anaeróbia do nitrogênio em solos de várzea do Rio Grande do Sul**. 2005, 108 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

RHODEN, A.C.; SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O.; BRITZKE, D.; BENEDETTI, E.L. Mineralização anaeróbia do nitrogênio em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, 36:1780-1787, 2006a.

RHODEN, A.C.; SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O.; BRITZKE, D; RANNO, S. K. Relação entre características de solos de várzea e a absorção de nitrogênio pelo arroz irrigado em dois cultivos sucessivos em casa-de-vegetação. **R. Bras. Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 3, p. 325-331, jul-set, 2006b.

ROBERTS, T.L.; NORMAN, R.J.; SLATON, N.A.; WILSON, JR. C.E.; ROSS, W.J.; BUSHONG, J.T. Direct steam distillation as an alternative to the Illinois Soil Nitrogen Test. **Soil Science Society of America Journal**, v. 73, p.1268–1275, 2009.

ROBERTS, T.L.; NORMAN, R.J.; SLATON, N.A.; WILSON, JR. C.E.; ROSS, W.J. N-ST*R: A soil-based nitrogen test for fertilizer recommendations in Arkansas rice production. *In*: R.J. NORMAN; MOLDENHAUER, K.A.K. editors, B.R. **Wells Rice Research Studies 2009**. Res. Ser. 581. Univ. of Arkansas, Agric. Exp. Stn., Fayetteville, p. 190–196, 2010.

ROBERTS, T.L.; ROSS, W.J.; NORMAN, R.J.; SLATON, N.A.; WILSON, JR. C.E. Predicting nitrogen fertilizer needs for rice in Arkansas using alkaline hydrolyzable-nitrogen. **Soil Science Society of America Journal**, v. 75. P. 1161–1171, 2011.

ROSA, C. M. **Matéria orgânica em Planossolo Háplico sob sistemas de manejo no cultivo do arroz irrigado no Sul do Brasil**. 2010, 92p. Tese (Doutorado em Solos) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

SANTOS, V. B. **Matéria Orgânica e Biomassa Microbiana de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo**. 2003. 80f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solos) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - RS, 2003.

SCIVITTARO, W. B.; MACHADO, M. O. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado. *In*: GOMES, A. da S., MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de (Org). **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Pelotas – RS: Sistemas de Produção 03, 2004.

SCIVITTARO, W.B., SCHAFER, G.; GOMES, A. da S. Uso de indicadores do nível de nitrogênio na planta de arroz para predição da necessidade de adubação nitrogenada na diferenciação da panícula. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 26; 2005, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2005, p.477-479.

SILVA, L. S., BOHNEN, H., MARCOLIN, E., MACEDO, V. R. M., POCOJESKI, E. Resposta a doses de nitrogênio e avaliação do estado nutricional do arroz irrigado. **R. Bras. Agrocência**, Pelotas, v. 13, n. 2, p. 189-194, abr-jun, 2007.

SOUSA, R. O.; CAMARGO, F. A. O.; VAHL, L. C. Solos alagados. In: Meurer, E. J. **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre:Gênesis, 2000, p. 126-149.

SOUSA, R.O. **Oxirredução em solos alagados afetada por resíduos vegetais**. 2001. 164f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2001.

SOUSA, R.O. de; VAHL, L.C.; OTERO, X.L. Química de solo alagado. In: MELO, V. DE F.; ALLEONI, L.R.F. **Química e Mineralogia do Solo. Parte II – Aplicações**. Viçosa, MG, 2009. p. 485-528.

SPARGO, J.T.; ALLEY, M.M.; THOMASON, W.E.; NAGLE, S.M. Illinois soil nitrogen test for prediction of fertilizer nitrogen needs of corn in Virginia. **Soil Science Society of America Journal**, v. 73, p.434–442, 2009.

STANFORD, G. & SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potential of soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 36, p. 465-472, 1972.

STEVENSON, F.J.; COLE, M.A. **Cycles of soils: Carbon, nitrogen, phosphorous, sulfur, micronutrients**. Second ed. John Wiley & Sons, New York, 1999.

TEDESCO, J. M. et al. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1995. 174 p.

THICKE, F. E.; RUSSELLE, M. P.; HESTERMAN, O. B.; SHEAFFER, C. C. Soil nitrogen mineralization indexes and corn response in crop rotations. **Soil Science**, v. 156, n.5, p. 322-335, 1993.

VAHL, L. C. Fertilidade de solos de várzea. In: GOMES, A. S.; PAULETTO, E. A. (eds.) **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 119-162.

VAHL, L. C.; SOUZA, R. O. Aspectos físico-químicos de solos alagados. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de (Org). **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Embrapa, Brasília - DF, 2004, cap. 4, p. 97-118.

VAZOLLER, R.F.; DAMIANOVIC, M.H.R.Z; ARAUJO, J.C. Biodegradação anaeróbia. In: MELLO, I.S.; AZEVEDO, J.L. (Eds.). **Microbiologia Ambiental**. Jaguariúna: Embrapa, 2008. p.217-260.

WANG, W.; SMITH, C.J.; CHALK, P.M.; CHEN, D. Evaluating chemical and physical indices of nitrogen mineralization capacity with an unequivocal reference. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, p. 368–376, 2001.

WILLIAMS, J. D.; CROZIER, C. R.; WHITE, J. G.; CROUSE, D. A. Amino sugar nitrogen test to predict nitrogen fertilizer rates in corn. **Agronomy Abstracts**, ASA-CSSA-SSSA, Madison, 2005. CD-ROM.

WILLIAMS, J.D.; CROZIER, C.R.; WHITE, J.G.; SRIPADA, R.P.; CROUSE, D.A. Comparison of soil nitrogen tests for corn fertilizer recommendations in the humid southeastern USA. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, p. 171–180, 2007.

WILSON, C.E.; WELLS, B.R.JR.; NORMAN, R.J. Fertilizer nitrogen uptake by rice from urea–ammonium nitrate solution vs. granular urea. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1825–1828, 1994.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGEMBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A. & SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, 79:117-161, 1997.

ZHU, Z.; CAI, G. XU, Y.; ZHANG, S. Nitrogen mineralization of paddy soils in Tai-lake region and the prediction of soil nitrogen supply. **Acta Pedologica Sinica**, Beijing, v. 21, n. 1, p. 29-36, 1984.