

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
CAMPUS ITAQUI  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DOS SOLOS  
CULTIVADOS COM ARROZ IRRIGADO EM  
ITAQUI, RS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**Eduardo Bianchi Cadorin**

**Itaqui, RS, Brasil  
2013**

**EDUARDO BIANCHI CADORIN**

**DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DOS SOLOS CULTIVADOS COM  
ARROZ IRRIGADO EM ITAQUI, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro Agrônomo**.

Orientador: Paulo Jorge de Pinho

Itaqui, RS, Brasil  
2013

C125d	<p data-bbox="335 1489 686 1534">Cadorin, Eduardo Bianchi</p> <p data-bbox="335 1545 1460 1635">Diagnóstico da Fertilidade dos Solos Cultivados com Arroz Irrigado em Itaqui, RS / Eduardo Bianchi Cadorin.</p> <p data-bbox="335 1646 446 1691">51 p.</p> <p data-bbox="335 1747 1460 1836">Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-- Universidade Federal do Pampa, AGRONOMIA, 2013.</p> <p data-bbox="335 1848 845 1892">"Orientação: Paulo Jorge de Pinho".</p> <p data-bbox="335 1948 1069 1993">1. Fertilidade dos Solos Arrozeiros de Itaqui. I. Título.</p>
-------	--

**EDUARDO BIANCHI CADORIN**

**DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DOS SOLOS CULTIVADOS COM  
ARROZ IRRIGADO EM ITAQUI, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro Agrônomo**.

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em: 26 de setembro de 2013.  
Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Paulo Jorge de Pinho  
Orientador  
Curso de Agronomia - UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Eloir Missio  
Curso de Agronomia - UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Carlos Eduardo Schaedler  
Curso de Agronomia - UNIPAMPA

**Dedico este trabalho, aos meus pais José Luiz e Cleusa, pelo amor, educação e apoio, fazendo parte da pessoa que sou hoje.**

## **AGRADECIMENTO**

Aos meus pais, pelo amor dado em toda a minha vida, e pelo apoio aos meus estudos.

As minhas irmãs, pelo amor e apoio dado a mim e também por terem compreendido, desde o início da minha graduação a minha ausência.

Ao meu irmão, conselheiro e exemplo de Engenheiro Agrônomo.

A toda minha família, pelo apoio, conselhos e amor inestimável.

Aos meus amigos, por fazerem parte da minha vida, nos bons e maus momentos.

A UNIPAMPA, pela oportunidade de estudo e formação.

A cidade de Itaqui, por ter me recebido de braços abertos e pelas grandes amizades feitas nela.

Ao professor orientador Dr. Paulo Jorge de Pinho, pela grande atenção, confiança, paciência, apoio e conselhos dados a mim, e também pela amizade construída com esse trabalho.

Aos professores da graduação, pela formação como futuro Engenheiro Agrônomo.

A todos os professores que cruzaram a minha vida, pela educação e conhecimentos concedidos.

Ao meu amigo e colega João Gabriel Mozzaquattro da Silva, meu grande companheiro em toda essa caminhada, desde o início da graduação.

A todos os meus colegas de graduação, pela parceria nos estudos e pelas amizades conquistadas.

Ao Instituto Rio Grandense do Arroz, na pessoa de Jacqueline Jacques, pela oportunidade de estágio e disponibilização dos laudos para realização deste trabalho.

A empresa AGEFER Insumos Agrícolas, na pessoa de Renan Escovar, pela disponibilização dos laudos para realização deste trabalho.

A todos que de alguma forma colaboraram para realização deste trabalho.

A todos que cruzaram pela minha vida, pois com cada um aprendi algo diferente, fazendo parte da pessoa que sou hoje.

**Aqueles que passam por nós, não vão  
sós, não nos deixam sós. Deixam um  
pouco de si, levam um pouco de nós.**

***Antoine de Saint-Exupéry***

## RESUMO

### DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DOS SOLOS CULTIVADOS COM ARROZ IRRIGADO EM ITAQUI, RS

Autor: Eduardo Bianchi Cadorin

Orientador: Paulo Jorge de Pinho

Local e data: Itaquí, 26 de setembro de 2013.

O município de Itaquí é o segundo maior produtor de arroz do Estado do Rio Grande do Sul, entretanto a produtividade obtida fica aquém de diversos outros municípios produtores. Sabe-se que o solo tem um papel muito importante na produtividade das culturas, pois este, muitas vezes, supre as necessidades nutricionais das plantas. Em virtude disso, o objetivo com este trabalho foi diagnosticar a fertilidade dos solos arrozeiros de Itaquí, através do levantamento e análise dos parâmetros de fertilidade de solos. Foram obtidos laudos de análises de solo da safra 2012/2013 com o Instituto Rio Grandense do Arroz e com a AGEFER Insumos Agrícolas, com um total de 427 laudos. Os resultados destes laudos foram enquadrados em faixas de interpretação indicadas para o cultivo de arroz no Estado do Rio Grande do Sul. Após a interpretação foi feita a distribuição de frequência (porcentagem) dos dados. Foi feita uma comparação dos solos arrozeiros de Itaquí com os de outras regiões do Rio Grande do Sul. A fertilidade do solo de Itaquí é um dos principais fatores de redução da produtividade de arroz, sendo os seus solos menos férteis do que os do restante do Rio Grande do Sul e da Fronteira Oeste. A aplicação adequada de insumos nessas áreas, possivelmente, poderá resultar em aumento de produtividade.

Palavras-chave: análise de solos, *Oryza sativa*, Fronteira Oeste.



## **ABSTRACT**

### **DIAGNOSIS OF SOIL FERTILITY CULTIVATED WITH FLOODED RICE IN THE CITY OF ITAQUI**

Author: Eduardo Bianchi Cadorin

Advisor: Paulo Jorge de Pinho

Data: Itaquí, September 26<sup>th</sup>, 2013.

Itaquí city is the second largest producer of rice in the state of Rio Grande do Sul. However, the yield obtained is inferior to many other counties producers. It is known that the soil has a very important role in crop yields, as this often meets the nutritional needs of plants. As a result, the aim of this work was to diagnose soil fertility of rice farmers Itaquí through the collection and analysis of soil fertility parameters. Reports were obtained from soil analysis of 2012/2013 harvest with the Instituto Rio Grandense do Arroz and the AGEFER Insumos Agrícolas, with a total of 427 reports. The results of these reports were framed in bands of interpretation suitable for rice cultivation in the state of Rio Grande do Sul. After the interpretation, the results were grouped and was made of the frequency distribution (percentage). A comparison was made of the soil chemical parameters in other regions of Rio Grande do Sul. Soil fertility Itaquí is a major factor in reducing the rice yield, and the soils are less fertile than the rest of the Rio Grande do Sul and Fronteira Oeste. The proper application of fertilizers in these areas, probably, will result in increased productivity.

Keywords: analysis of soils, *Oryza sativa*, Fronteira Oeste.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Localização do município de Itaqui.....	16
FIGURA 2 - Zonas de oxidação e redução em um solo inundado.....	18
FIGURA 3 - Distribuição das classes de solos e teores de argila dos solos cultivados com arroz irrigado em Itaqui.....	33
FIGURA 4 - Distribuição das faixas de pH dos solos cultivados com arroz irrigado no município de Itaqui.....	34
FIGURA 5 - Distribuição das faixas de matéria orgânica dos solos cultivados com arroz irrigado em Itaqui.....	35
FIGURA 6 - Distribuição das faixas de fósforo disponível dos solos cultivados com arroz irrigado em Itaqui.....	37
FIGURA 7 - Distribuição das faixas de potássio disponível dos solos cultivados com arroz irrigado em Itaqui.....	38
FIGURA 8 - Distribuição das faixas de cálcio trocável dos solos cultivados com arroz irrigado em Itaqui.....	39
FIGURA 9 - Distribuição das faixas de magnésio trocável dos solos cultivados com arroz irrigado em Itaqui.....	40
FIGURA 10 - Distribuição das faixas de CTC dos solos cultivados com arroz irrigado em Itaqui.....	42
FIGURA 11 – Distribuição das faixas de V dos solos cultivados com arroz irrigado em Itaqui.....	43
FIGURA 12 – Distribuição das faixas de m dos solos cultivados com arroz irrigado em Itaqui.....	44
FIGURA 13 – Distribuição das faixas de boro dos solos cultivados com arroz irrigado em Itaqui.....	45

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Sequência de reações de redução nos solos inundados.....	19
TABELA 2 - Extração de nutrientes para produzir uma tonelada de grãos de arroz.....	28
TABELA 3 – Teores de minerais encontrados no arroz em diversas partes da planta.....	29
TABELA 4 – Dados referentes aos teores de matéria orgânica em Itaqui, na Fronteira Oeste e no Rio Grande do Sul.....	35
TABELA 5 – Dados referentes aos teores de fósforo disponível em Itaqui, na Fronteira Oeste e no Rio Grande do Sul.....	36
TABELA 6 - Dados referentes aos teores de cálcio trocável em Itaqui, na Fronteira Oeste e no Rio Grande do Sul.....	39
TABELA 7 - Dados referentes aos teores de magnésio trocável em Itaqui, na Fronteira Oeste e no Rio Grande do Sul.....	40
TABELA 8 - Dados referentes aos teores de CTC em Itaqui e no Rio Grande do Sul.....	41

## Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	14
2.1 Arroz no Estado do Rio Grande do Sul .....	14
2.2 Arroz no Município de Itaqui.....	15
2.3 Fertilidade dos Solos Arrozeiros e sua Importância .....	17
2.3.1 pH.....	19
2.3.2 Matéria orgânica.....	20
2.3.3 Disponibilidade de nitrogênio .....	21
2.3.4 Disponibilidade de fósforo .....	22
2.3.5 Disponibilidade de potássio.....	22
2.3.6 Disponibilidade de cálcio .....	23
2.3.7 Disponibilidade de magnésio.....	24
2.3.8 Disponibilidade de enxofre .....	24
2.3.9 Disponibilidade de zinco .....	25
2.3.10 Disponibilidade de boro .....	25
2.3.11 Disponibilidade de manganês .....	26
2.3.12 Disponibilidade de ferro.....	26
2.3.13 Disponibilidade de cobre .....	27
2.3.14 Capacidade de troca de cátions, Saturação por bases e Saturação por alumínio.....	28
2.4 Exigências Nutricionais do Arroz Irrigado.....	28
2.5 Levantamentos anteriores sobre Fertilidade dos Solos Arrozeiros .....	29
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	30
3.1 Obtenção dos Laudos .....	30
3.2 Interpretação dos Laudos.....	30
3.2.1 Faixas de Interpretação.....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
4.1 Teor de argila .....	32
4.2 pH em água.....	33
4.3 Matéria orgânica do solo .....	34
4.4 Fósforo disponível .....	36
4.5 Potássio disponível .....	37

4.6 Cálcio trocável.....	38
4.7 Magnésio trocável .....	40
4.8 Capacidade de troca de cátions (CTC) .....	41
4.9 Saturação por bases (V).....	42
4.10 Saturação por alumínio (m) .....	43
4.11 Enxofre extraível .....	44
4.12 Teores de micronutrientes.....	45
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48

## 1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa*) está entre os cereais mais consumidos no mundo sendo um dos mais produzidos no Brasil. O Rio Grande do Sul se destaca como o principal produtor desse grão. Nesse Estado é praticado o cultivo irrigado de arroz, fazendo com que se alcancem as maiores produtividades do país (CONAB, 2013) e semelhantes às obtidas por países tradicionais no cultivo de arroz, porém ainda inferior às alcançadas pelos Estados Unidos, Austrália e Japão (SOSBAI, 2012).

No Rio Grande do Sul o arroz desponta como uma das principais culturas, sendo produzido em cerca de 140 municípios. Dentre esses municípios, Itaqui merece lugar de destaque, pois é o segundo maior produtor do Estado. Este município localiza-se na Fronteira Oeste do Estado, principal região produtora. Nesta região foram colhidas aproximadamente 330 mil hectares na safra de 2012/2013, com uma produção de cerca de 2,5 milhões de toneladas (IRGA, 2013).

A orizicultura é a principal atividade desse município, onde foram produzidas 605.660 toneladas na safra 2012/2013, em uma área de 81.384 hectares, alcançando uma produtividade média de 7442 kg ha<sup>-1</sup>. Entretanto, tal produtividade é inferior às encontradas em diversos outros municípios do Rio Grande do Sul, sendo que 52 municípios obtiveram produtividades superiores a de Itaqui. Dona Francisca, município com maior produtividade média do Estado, por exemplo, tem uma produtividade de 9098 kg ha<sup>-1</sup>, 18,2% superior à produtividade média de Itaqui (IRGA, 2013).

Sabe-se que o solo tem papel importante na produtividade das culturas, pois este, muitas vezes, supre as necessidades nutricionais das plantas e ainda dá suporte mecânico. Entretanto, tais nutrientes estão sujeitos a diversas formas de perdas no solo, como lixiviação, erosão, exportação das culturas implantadas, entre outras. Dessa forma, a cultura do arroz, devido ao seu manejo de intenso revolvimento do solo, aliado a adubações que não reponham a quantidade de nutrientes exportadas pelas culturas e outras perdas que possam ocorrer, está sujeita a desequilíbrios nutricionais que refletem em menor produção.

Tendo em vista tais informações, o objetivo com este trabalho foi diagnosticar a fertilidade dos solos arrojados de Itaqui, através do levantamento e análise dos parâmetros de fertilidade de solos. A partir deste levantamento, foi possível realizar

uma comparação com dados já existentes do restante do Estado e da Fronteira Oeste, possibilitando assim maior entendimento sobre as possíveis causas de ocorrência tais diferenças de produtividade entre as localidades.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Arroz no Estado do Rio Grande do Sul

O arroz (*Oryza sativa*) está entre os cereais mais produzidos no Brasil. O Estado do Rio Grande do Sul é o maior produtor desse grão e concentra 66,9% da produção brasileira, cultivando apenas 44,6% da área total do país, sendo que essa área plantada está relacionada com o cultivo irrigado, fazendo com que o Estado alcançasse as maiores produtividades, seguido por Santa Catarina e Paraná. (CONAB, 2013). Tais níveis de produtividade colocam a lavoura de arroz irrigado do Sul do Brasil no mesmo patamar de países tradicionais no cultivo, porém ainda inferior aos obtidos nos EUA, na Austrália e no Japão (SOSBAI, 2012). Este desempenho da orizicultura gaúcha se deve ao fato do seu cultivo irrigado garantir o suprimento de água, à utilização intensiva de tecnologia (genética e manejo), e ainda caracteriza a orizicultura no Estado com predominância no cultivo irrigado extensivo, em um sistema empresarial, onde se destaca a alta utilização de mão-de-obra assalariada, de máquinas e terras arrendadas (GOMES & MAGALHÃES, 2004).

No Rio Grande do Sul, estima-se que o arroz apresenta atualmente um valor bruto de produção de cinco bilhões de reais, o que representa mais do que 3% do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e 2,74% do PIB (SOSBAI, 2012). Através dele são gerados mais de 400 milhões de reais em ICMS por ano, cultivando mais de um milhão de hectares, em 140 municípios gaúchos envolvendo 18,5 mil produtores, empregando mais de 250 mil pessoas no campo e nas cidades, com uma produção suficiente para alimentar 190 milhões de brasileiros por 8,4 meses do ano (FEDERARROZ, 2011).

As regiões produtoras de arroz no Estado localizam-se no centro-sul, sendo a Fronteira Oeste a principal produtora, com cerca de 30% da área plantada e com a maior produtividade média. Outras regiões produtoras são a Campanha, Depressão Central, Planície Costeira Externa à Lagoa dos Patos, Planície Costeira Interna à Lagoa dos Patos e a Zona Sul (SOSBAI, 2012).

Os solos cultivados com arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul são encontrados, principalmente, nos ecossistemas de várzeas (solos de várzea)



formados por planícies de rios, lagoas e lagoas, apresentando uma característica comum: a formação em condições variadas de deficiência de drenagem (hidromorfismo) (EMBRAPA, 2005), que favorece o seu cultivo inundado, mas dificulta a introdução de novas culturas. Os solos de várzea, em função da heterogeneidade do material de origem e dos diferentes graus de hidromorfismo, apresentam grandes diferenças nas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas (GOMES & MAGALHÃES, 2004).

Quando o solo é alagado, diversas reações acontecem e o sistema passa, então, por um período de adaptação, mudando para um estado anaeróbico, e com características distintas de antes do alagamento (GOMES & MAGALHÃES, 2004). Essas modificações ocasionam no aumento da disponibilidade de alguns nutrientes, como fósforo (P), potássio (K) e cálcio (Ca) (CAMARGO et al., 1999). Entretanto, apesar da melhoria de sua qualidade decorrente do alagamento, os solos cultivados com arroz no Rio Grande do Sul, apresentam, em geral, fertilidade natural de baixa a moderada, tornando a prática de adubação necessária (EMBRAPA, 2005).

Resultados recentes de pesquisa apontam que, aliados as condições edafo-climáticas, o potencial genético das cultivares, o manejo do solo e da cultura, determinam os potenciais de produtividade da cultura, que vem aumentando a cada safra (salvo anos com condições meteorológicas atípicas). Assim, ao longo dos anos houve uma evolução nas recomendações de adubação, pois as respostas do arroz irrigado tornaram-se significativas, consistentes e com retorno econômico (SOSBAI, 2012).

## **2.2 Arroz no Município de Itaqui**

Este município situa-se na Fronteira Oeste do Estado do Rio Grande do Sul, sendo sua área territorial de 3.404,05 km<sup>2</sup> (IBGE, 2013), sendo que é banhado pelo Rio Uruguai, divisa com a Argentina, e pelo Rio Ibicuí, na divisa com o município de Uruguiana, e vizinha ainda dos municípios de São Borja e Maçambará (IBGE, 2013). Tais rios, junto com as barragens, são as fontes de irrigação para o arroz nesse município.



FIGURA 1 - Localização do município de Itaqui. Fonte: Wikipédia (2013).

A orizicultura caracteriza-se como a principal atividade nesse município. Na produção de arroz, Itaqui é o segundo maior no Estado em área e produção, sendo a sua produção de arroz de 605.660 toneladas em uma área de 81.384 hectares, obtendo assim uma produtividade média de 7.442 quilogramas por hectare (IRGA, 2013). Deve-se destacar a importância da orizicultura, pois contribui com 32,9% do seu PIB (TRINDADE, 2011).

Os solos e o relevo do município são os fatores que influenciam os produtores a desenvolverem o cultivo do arroz, valendo salientar que nos aspectos socioeconômicos, há a geração de renda e empregos (TRINDADE, 2011), destacando que, segundo Mota (1995) a Fronteira Oeste e a Zona Sul tem destacada incidência de radiação solar quando comparados com as outras regiões arrozeiras, evidenciando o alto potencial produtivo desse município.

As extensas áreas de relevo plano com solos da classe Neossolos na região da Fronteira Oeste do Estado têm sido cultivadas com arroz irrigado (ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RS, 2013). Entretanto, tais solos, derivados do basalto, podem apresentar problemas de pedregosidade e também de baixa profundidade efetiva, já que são solos jovens (SOSBAI, 2012).

### 2.3 Fertilidade dos Solos Arrozeiros e sua Importância

Sabe-se que o solo tem papel importante na produtividade das culturas, pois este, muitas vezes, supre as necessidades nutricionais das plantas além de dar suporte mecânico. Dos elementos químicos, dezessete são conhecidos como essenciais para as plantas, sendo três deles o carbono (C), oxigênio (O) e hidrogênio (H) supridos pela água e pelo ar (na forma de dióxido de carbono). Os quatorze elementos restantes devem vir, em sua grande maioria, do solo, sendo seis deles conhecidos como macronutrientes, pois são necessários em maior quantidade pela planta. Esses nutrientes são o nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S). Oito deles são considerados micronutrientes, já que são necessários em menor quantidade: boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn) (TROEH & THOMPSON, 2007).

Tais nutrientes estão sujeitos a diversas formas de perdas no solo, como erosão, lixiviação, exportação das culturas implantadas, entre outras. Assim, a cultura do arroz, devido ao seu manejo de intenso revolvimento do solo, aliado a possíveis adubações que reponham menos nutrientes do que o exportado está sujeita a desequilíbrios nutricionais que refletem em uma menor produção.

Há relatos de que alguns solos tiveram suas produtividades reduzidas significativamente com o cultivo intensivo com arroz, principalmente por sua degradação física e química (FAGERIA et al., 2003).

Atualmente, as áreas do conhecimento relacionadas à fertilidade do solo ganham importância cada vez maior, pois os fertilizantes contribuem com um elevado peso no custo da produção (BUENO & LEMOS, 2006). Segundo SOSBAI (2012) essa contribuição é de aproximadamente 10% (não considerando o valor da aplicação) de todos os custos da lavoura arrozeira.

Ao longo do tempo, o acompanhamento da fertilidade do solo é avaliado através do histórico de produtividade da área e pelas análises periódicas das lavouras. Os resultados permitem acompanhar a evolução da fertilidade e a recomendação da adubação (BUENO & LEMOS, 2006). Segundo a Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS RS/SC, 2004) o sistema de recomendação de adubação e calagem é composto por

quatro etapas, que são: Amostragem do Solo; Análise em Laboratório; Interpretação dos resultados analíticos e a recomendação de corretivos e de fertilizantes.

Quando tratamos de arroz irrigado, devemos considerar que este é um caso a parte, pois não se trata de um solo oxidado, mas sim de um solo alagado, onde não há oxigênio, que passou do estado aeróbico para anaeróbico. Segundo Fageria (2003), em solos inundados, seus atributos físicos e químicos são alterados, pela reação entre o solo e a água, e há a formação de uma zona de redução (onde se desenvolvem as raízes) e uma zona de oxidação.



FIGURA 2 - Zonas de oxidação e redução em um solo inundado. Fonte: Fageria et al. (2003).

Essa zona de oxidação resulta do suprimento de  $O_2$  atmosférico por difusão através da água (YOSHIDA, 1981). Assim, constata-se que um solo submerso ou inundado não é uniformemente desprovido de oxigênio. A espessura dessa camada depende do equilíbrio entre difusão e consumo de oxigênio, não ultrapassando em geral a alguns milímetros (CAMARGO et. al., 1999).

Um dos atributos químicos mais alterados quando ocorre falta de oxigênio devido a inundação é o pH (FAGERIA et al., 2003), além da dinâmica de diversos nutrientes que estão no solo.

### 2.3.1 pH

Quando o solo é alagado, o seu pH diminui durante os primeiros dias devido ao consumo do restante do O<sub>2</sub> pela respiração dos micro-organismos aeróbicos que estão no solo no início do alagamento, para após isso estabilizar-se em torno de 6,5, poucas semanas mais tarde (FAGERIA et. al., 2003). A inundação tem o efeito de aumentar o pH em solos ácidos (devido às reações de redução) e diminuir em solos alcalinos (devido ao acúmulo mais intenso de CO<sub>2</sub>) (CAMARGO et al., 1999), sendo que esses fatores atuam em sentidos opostos e definem o pH do solo (GOMES & MAGALHÃES, 2004).

A redução do solo se deve ao consumo dos íons H<sup>+</sup> nas reações. Na tabela 1 são apresentadas equações de redução de solos inundados.

TABELA 1 – Sequência de reações de redução nos solos inundados

Reação
$O_2 + 4H^+ + 4 e^- \leftrightarrow 2H_2O$
$NO_3^- + 6H^+ + 5 e^- \leftrightarrow \frac{1}{2} N_2 + 3H_2O$
$MnO_2 + 4H^+ + 2 e^- \leftrightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$
$Fe(OH)_3 + 3H^+ + e^- \leftrightarrow Fe^{2+} + 3H_2O$
$SO_4^{2-} + 10H^+ + 8 e^- \leftrightarrow H_2S + 4H_2O$
$CO_2 + 8H^+ + 8 e^- \leftrightarrow CH_4 + 2H_2O$
$2H^+ + 2 e^- \leftrightarrow H_2$

Fonte: Ponnamparuma (1977).

O aumento do pH é devido ao consumo de íons H<sup>+</sup> nas reações de redução, e constata-se a importância do Fe nesse processo, pois a maioria dos solos contém mais óxidos de Fe do que qualquer outro elemento em condições de ser reduzido. Além disso, para cada elétron transferido na redução do Fe, são consumidos três H<sup>+</sup>,

enquanto para Mn são consumidos dois, e para o restante apenas um (FAGERIA et. al., 2003).

### **2.3.2 Matéria orgânica**

O húmus é a parte mais considerável da matéria orgânica, pois a palhada fresca representa menos do que um décimo da matéria orgânica do solo. Alguns autores consideram essa diferença tão pequena que nem fazem distinção entre estes. O húmus contém todos os nutrientes que as plantas absorvem, mas em menor quantidade, e seus principais elementos são: C, H, O e N, com menores quantidades de P, S e outros elementos. O K, por se tratar de um cátion monovalente que não forma estruturas orgânicas na planta, é facilmente extraído da matéria orgânica morta (TROEH & THOMPSON, 2007).

Um dos principais processos de perda de material orgânico é a decomposição promovida por fungos e bactérias (DICK et al., 2009), porém esse processo enriquece o solo em certos nutrientes, principalmente o N. Sob condições aeróbicas e de boa aeração, os micro-organismos rapidamente decompõem os componentes mais simples (TROEH & THOMPSON, 2007).

A matéria orgânica é a fonte de energia e material celular para os micro-organismos do solo. (GOMES & MAGALHÃES, 2004). Os micro-organismos podem ser divididos em aeróbicos e anaeróbicos, conforme sua necessidade ou não de oxigênio, respectivamente (TROEH & THOMPSON, 2007). Existem dois processos pelos quais os micro-organismos anaeróbicos obtêm energia dos compostos orgânicos: respiração anaeróbica e fermentação. Entretanto, tais processos fornecem menor quantidade de energia do que a respiração aeróbica, tornando a decomposição anaeróbica da matéria orgânica mais lenta (GOMES & MAGALHÃES, 2004).

As perdas de matéria orgânica resultam de uma combinação de vários fatores, como mudanças na quantidade e tipo de vegetação produzida, remoção pela colheita e oxidação acelerada resultante da maior aeração do solo pelo seu revolvimento. Porém, o maior fator de perda é usualmente o resultado da erosão acelerada sobre os cultivos (TROEH & THOMPSON, 2007).

### 2.3.3 Disponibilidade de nitrogênio

A importância do N na cultura do arroz irrigado é indiscutível. Ele é responsável por aumentar a área foliar da planta, aumentando assim a eficiência fotossintética e, conseqüentemente, a produção (FAGERIA et. al., 2003), também promove melhor desenvolvimento da planta, aumentando a produção de palha, número de panículas por unidade de área e desempenha papel importante na formação de órgãos reprodutivos e grãos (REIS et. al., 2005). Cerca de 99% do N contido no solo está na matéria orgânica. A maioria dos componentes orgânicos das plantas contem N, como os aminoácidos, enzimas, clorofila, adenosina difosfato (ADP) e adenosina trifosfato (ATP) (TROEH & THOMPSON, 2007).

A dinâmica deste elemento no solo é bastante complexa, pois são várias as formas químicas em que ele está presente e está sujeito a diversas reações e processos. Nos solos alagados, essas transformações são ainda mais complexas, devido à presença de uma lâmina de água e de uma fina camada oxidada na interface solo-água, seguida por uma camada reduzida abaixo desta e de outra camada oxidada em torno das raízes do arroz (PONNAMPERUMA, 1972).

Em seu ciclo, o processo onde a matéria orgânica é decomposta e íons inorgânicos são liberados, chama-se mineralização. O processo reverso é chamado imobilização (TROEH & THOMPSON, 2007). Na mineralização, o produto formado é amônia ( $\text{NH}_3$ ), que facilmente combina com um próton e forma amônio ( $\text{NH}_4^+$ ). Há também o processo de nitrificação, onde o íon amônio é oxidado em nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), e posteriormente em nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (FAGERIA et al., 2003).

Há várias formas de perda de N, como volatilização de amônia, lixiviação de nitrato e pela desnitrificação. A desnitrificação é a perda de N de íons nitrato, onde ele é reduzido até formar  $\text{N}_2$ , que é um gás volátil. Este processo é o principal mecanismo de perda de N em arroz irrigado, pois quando o solo é inundado, grande parte do  $\text{NO}_3^-$  é reduzido e perdido na atmosfera. Assim, o manejo da água é fator determinante no aproveitamento do N, onde deve ser aplicado o fertilizante nitrogenado imediatamente antes da inundação (FAGERIA et al., 2003), entretanto, devido às lavouras da Fronteira Oeste do Estado do Rio Grande do Sul serem de tamanho grande, nem sempre isso é possível, pois há um intervalo de tempo entre a entrada de água na lavoura e a inundação completa desta.

### 2.3.4 Disponibilidade de fósforo

Após o N, o P é o nutriente que mais limita a produtividade do arroz irrigado nos solos de várzea do Brasil, devido ao baixo teor natural e à alta capacidade de fixação de P pela presença de óxidos de Fe e Al (FAGERIA et al., 2003). O P forma ânions complexos com oxigênio formando fosfatos (na maior parte  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$ ), que são quase insolúveis e isto é uma grande limitação na sua disponibilidade. Embora algum P seja interceptado pelas raízes em crescimento, e uma menor parte é carregada às raízes por fluxo de massa, a maior parte do movimento é dado por difusão, o que torna o transporte muito lento se a distância for maior que 5 ou 10 milímetros. Esse nutriente é responsável pelo armazenamento e fornecimento de energia em vários processos bioquímicos na planta por meio do composto ATP, participando ainda do processo de síntese de proteínas (TROEH & THOMPSON, 2007).

O ciclo do P é dinâmico, envolvendo solo, plantas e micro-organismos (FAGERIA et al., 2003), entretanto é mais simples que o do N, pois não envolve trocas com a atmosfera. O P tem alta capacidade de fixação, podendo ser adsorvido por diversos minerais, como Fe, Al e Ca, e também são mantidos por locais positivamente carregados nas argilas (TROEH & THOMPSON, 2007).

Os solos inundados, devido suas características, apresentam grandes diferenças em relação aos solos oxidados, em sua capacidade de fornecimento de P (FAGERIA et al., 2003). Com a inundação, o Fe é reduzido de  $\text{Fe}^{3+}$  para  $\text{Fe}^{2+}$  devido ao aumento do pH, liberando o P que estava adsorvido e fixado a ele e assim aumentando a concentração de P disponível, tornando mais eficiente a utilização deste nutriente e minimizando a dependência de fertilizante fosfatado (SWAROWSKY et al., 2006). Segundo Velloso et al. (1993) os fatores que aumentam a quantidade de P disponível são: hidrólise dos fosfatos de Fe e Al, liberação do P adsorvido por intercâmbio aniônico nas argilas ou hidróxidos de  $\text{Fe}^{3+}$  e de  $\text{Al}^{3+}$ , e a já citada redução do  $\text{Fe}^{3+}$  para  $\text{Fe}^{2+}$ .

### 2.3.5 Disponibilidade de potássio

As funções fisiológicas do K são: regulação enzimática, osmorregulação, formação de carboidratos e proteínas, entre outras. Ele é o nutriente extraído em



maior quantidade pelas cultivares modernas de arroz irrigado, quando comparado com os outros nutrientes. Entretanto, a resposta da cultura a aplicação desse nutriente não é tão marcante quanto as respostas obtidas de N ou P. A falta de resposta, nesse caso, é atribuída a diversas razões, como a disponibilidade de K no subsolo e a liberação de K não-trocável e de minerais (FAGERIA et al., 2003). Porém, com a introdução de cultivares com maior potencial produtivo e o monocultivo contínuo de arroz, têm-se verificado aumento na resposta do arroz irrigado ao fertilizante potássico (DOS SANTOS et al., 2002).

A maior parte do K está associada à fração mineral, não formando complexos com a matéria orgânica como o N (FAGERIA et al., 2003). Uma pequena parte do K está na forma trocável e a grande parte (90 a 98%) está como parte dos minerais primários ou fixado no solo. O K existe no solo em quatro formas, em equilíbrio dinâmico: K mineral (90 a 98%) ↔ K não trocável (1 a 10%) ↔ K trocável (1 a 2%) ↔ K em solução (0,1 a 0,2%) (BRADY & WEIL, 1996).

Devido à inundação, essa dinâmica é um pouco alterada. O K é deslocado das posições de troca para a solução, pois há um aumento da concentração de Fe e Mn solúveis que acabam por ocupar o sítio de troca (FAGERIA et al., 2003). Entretanto, apesar do aumento na solução tornar o nutriente mais disponível para as plantas, Moraes & Dynia (1992) consideram o K como o cátion mais facilmente lixiviado, devido a esse deslocamento para a solução.

### **2.3.6 Disponibilidade de cálcio**

O Ca é um componente estrutural das paredes celulares e por isso é vital na formação de novas células. No solo ocorre como cátion divalente  $\text{Ca}^{2+}$ . É geralmente um elemento presente no solo em grandes quantidades, representando, na maioria das vezes, de 75 a 85% das bases trocáveis presentes no solo, pois está em diversos minerais do solo e é intemperizado de forma ligeiramente mais rápida que os demais nutrientes, sendo que poucas vezes é necessária aplicação de fertilizante, e isso é favorecido pelo tamanho pequeno do íon  $\text{Ca}^{2+}$ . Teores muito baixos de Ca ocorrem em solos altamente lixiviados e com baixa capacidade de troca de cátions. (TROEH & THOMPSON, 2007).

Após a inundação, a concentração de Ca é aumentada na solução, devido a substituição dele pelo  $\text{Fe}^{2+}$ . A cultura do arroz não necessita de grandes quantidades de Ca quando comparado com milho, trigo, cevada, soja e feijoeiro, por exemplo. As formas de Ca podem ser classificadas como não trocáveis (ou formas minerais), trocáveis e na solução do solo, sendo que as três formas estão em equilíbrio no solo (FAGERIA et al., 2003).

### 2.3.7 Disponibilidade de magnésio

O Mg é vital para a fotossíntese, já que cada molécula de clorofila contém um íon de Mg no centro do anel porfirínico. Está presente no solo como  $\text{Mg}^{2+}$ , sendo muito semelhante quimicamente ao íon  $\text{Ca}^{2+}$ . Entre 12 a 18% das bases trocáveis são normalmente íons de Mg, sendo uma quantidade inferior somente aos íons de Ca (TROEH & THOMPSON, 2007).

As suas formas no solo são semelhantes às de Ca, sendo elas: Mg não trocável ou em formas minerais; Mg trocável e Mg na solução do solo. O teor de Mg na solução, de forma similar ao de Ca e K, tem seus teores aumentados devido a inundação (FAGERIA et al., 2003).

SOSBAI (2012) relata que o arroz irrigado é pouco sensível às relações entre cátions trocáveis no solo, sendo que relações de Ca/Mg variando de 2 a 40 não tem interferido no desenvolvimento da cultura, desde que seus teores trocáveis não sejam menores que 2,0 e 0,5  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , de Ca e Mg respectivamente.

### 2.3.8 Disponibilidade de enxofre

O S é um nutriente com função estrutural de proteínas e alguns hormônios vegetais. Faz parte dos aminoácidos cistina, cisteína e metionina. As plantas absorvem o S do solo como íons sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) ou dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) do ar (TROEH & THOMPSON, 2007). O S tem recebido pouca atenção dos produtores, já que está presente na maioria dos fertilizantes nitrogenados e fosfatados usados nas lavouras, entretanto os fertilizantes da alta concentração (como uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio) são ausentes de S (FAGERIA et al., 2003).

É possível que exista deficiência deste nutriente devido ao cultivo intensivo, esgotando sua reserva natural (FAGERIA et al., 2003). Assim como em solos

oxidados, a quantidade de  $S-SO_4^{2-}$  está diretamente relacionada com a textura e o material orgânico do solo. Solos mais argilosos têm maior capacidade de retenção de sulfato, pois possuem, normalmente, maiores quantidades de óxidos de ferro, dificultando sua perda por lixiviação, que é maior em solos arenosos. Além disso, a manutenção de lâmina d'água nas lavouras por longos períodos favorece a redução do sulfato e a sua perda por volatilização (CARMONA et al., 2009).

### **2.3.9 Disponibilidade de zinco**

O Zn está envolvido na síntese de vários compostos, como a clorofila e na ativação de sistemas enzimáticos. A forma dominante de Zn em solos com pH abaixo de 7,7 é  $Zn^{2+}$ , e a maior parte deste Zn encontra-se adsorvido em formas trocáveis de argila e na matéria orgânica, sendo que sua disponibilidade é afetada pelo pH, teores de argila, matéria orgânica, óxidos de Fe e Al. Em solos inundados, devido ao aumento do pH, a disponibilidade de Zn é menor do que em solos oxidados, já que há uma diminuição substancial na sua concentração na solução do solo (FAGERIA et al, 2003).

Nas áreas de cultivo do Rio Grande do Sul, onde a monocultura do arroz está instalada por vários anos de forma intensiva, é facilitada a ocorrência de deficiência de Zn (MARCHEZAN et al., 2001). A cultura do arroz é mais sensível à deficiência deste micronutriente em comparação com milho, trigo, soja e feijão, e dentre os micronutrientes, o Zn é o que mais se mostra deficiente em solos brasileiros (FUNGUETTO et al., 2010). Outros fatores que levam a deficiência de Zn estão relacionados com o baixo teor natural no solo, solos arenosos, baixo teor de matéria orgânica e maior necessidade deste nutriente pelas cultivares modernas, além da adubação fosfatada, devido à interação antagônica entre Zn e P na planta. Altas concentrações de  $Fe^{2+}$  e  $Mn^{2+}$  na solução do solo também tem efeito antagônico com a absorção de Zn (FAGERIA et al., 2003).

### **2.3.10 Disponibilidade de boro**

O B tem papel fundamental nas culturas, pois está envolvido com a germinação do grão de pólen e com o crescimento do tubo polínico e estes são severamente inibidos pela deficiência desse nutriente. O B é exigido em pequenas quantidades

pela cultura do arroz e para aplicação deste nutriente deve-se ter cautela, pois o intervalo entre deficiência e toxidez é bastante estreito (LEITE et al., 2011).

A deficiência deste elemento é mais comum em solos com textura arenosa, com baixos teores de matéria orgânica, aliados a alta precipitação pluvial. O B ocorre na solução do solo como ácido não dissociado  $H_3BO_3$  ou como ânion  $B(OH)_4^-$ , sendo a sua absorção pelas plantas pelo modo passivo e não pelo metabólico, e sua disponibilidade governada pela sua concentração na solução do solo. Ele está distribuído em vários componentes do solo como a matéria orgânica e minerais, além da já citada solução do solo, sendo que é adsorvido no solo pelos hidróxidos de Fe e Al, minerais de argila, carbonatos de Ca e matéria orgânica. O B não forma de reações de oxidação e redução, sendo sua química no solo muito simples (FAGERIA et al., 2003).

### **2.3.11 Disponibilidade de manganês**

O Mn, nas plantas, atua na síntese de clorofila e nos sistemas de enzimas. No solo, pode existir em diferentes estados de oxidação, mas pesquisas indicam que a maioria do Mn na solução do solo está na forma de  $Mn^{2+}$  (TROEH & THOMPSON, 2007). O Mn, como  $Mn^{4+}$  e  $Mn^{3+}$ , ocorrem em solos oxidados e de alto pH, sendo essas formas muito pouco solúveis e instáveis na solução do solo. A concentração de Mn solúvel ( $Mn^{2+}$ ) aumenta com baixo pH em solos oxidados, entretanto, a inundação aumenta a concentração de Mn na solução do solo devido ao processo de redução, dessa forma tanto a deficiência como a toxidez de Mn são incomuns no arroz irrigado. Há o aumento da concentração de  $Mn^{2+}$  com a inundação, mas raramente ocorre a toxidez, pois o arroz tolera altas concentrações deste nutriente, mais do que, por exemplo, feijão e cevada (FAGERIA et al., 2003).

### **2.3.12 Disponibilidade de ferro**

O Fe é um elemento frequente em rochas e solos, mas também é o micronutriente deficiente com mais frequência. O problema está em sua natureza insolúvel, que não consegue atender as necessidades das plantas. Componentes férricos acumulam-se em solos altamente desgastados e é um dos componentes principais dos solos de cor vermelha. Nas plantas ele é necessário para formação de

clorofila e para algumas funções em algumas enzimas do sistema respiratório (TROEH & THOMPSON, 2007).

A deficiência de Fe é um problema mundial, e não está relacionada com o baixo teor encontrado no solo, mas com sua absorção, devido à precipitação e diminuição da solubilidade, entretanto para arroz irrigado é mais frequente a sua toxicidade do que sua deficiência, pois a inundação aumenta a concentração de  $\text{Fe}^{2+}$  na solução do solo, devido à redução do  $\text{Fe}^{3+}$  que se encontra no solo. A toxidez pode ser direta, ou seja, relacionada com absorção excessiva do elemento pela planta, ou indireta, que resulta da limitação à absorção pelas plantas de diversos nutrientes, devido à precipitação de  $\text{Fe}^{3+}$  nas raízes das plantas, sendo essa a mais predominante nas condições brasileiras. A toxidez pode ser corrigida com drenagem da água de irrigação, calagem e uso de cultivares resistentes (FAGERIA et al., 2003).

### **2.3.13 Disponibilidade de cobre**

O Cu é essencial tanto para animais como para plantas, sendo que está envolvido na formação da clorofila e é importante como uma coenzima necessária para ativar outras diversas enzimas nas plantas. Sua absorção parece ser relativamente inversa à absorção de Fe, pois pouco Cu causa acúmulo de Fe e muito causa sintomas cloróticos similares às deficiências de Fe. Aparece na forma de  $\text{Cu}^{2+}$  na maioria dos solos e como  $\text{Cu}^+$  onde o nível de oxidação é baixo, sendo que a maioria do Cu presente no solo está associada a frações orgânicas, porém alguns estão ligados a óxidos de Fe e outros a troca de cátions (TROEH & THOMPSON, 2007).

A absorção de Cu está relacionada com o metabolismo da planta e apresenta antagonismo com outros cátions bivalentes, como o  $\text{Zn}^{2+}$ . Sua disponibilidade é afetada pelo pH, sendo que o aumento deste interfere negativamente na disponibilidade de Cu, devido ao fato de diminuir a sua concentração na solução do solo e sua adsorção aos colóides do solo. A inundação também afeta negativamente sua disponibilidade, pois há a reação do  $\text{Cu}^{2+}$  com  $\text{H}_2\text{O}$  e assim a precipitação de Cu como hidróxido (FAGERIA et al., 2003).

### 2.3.14 Capacidade de troca de cátions, Saturação por bases e Saturação por alumínio

A capacidade que as micelas de argila e húmus do solo têm de aprisionar cátions trocáveis é conhecida como Capacidade de Troca de Cátions (CTC). A troca de cátions consiste no intercâmbio de cátions adsorvidos nestas superfícies por cátions presentes na solução do solo, sendo um fator dominante em toda química do solo em que, geralmente, mais de 99% dos cátions são adsorvidos e menos de 1% estão presentes em solução (TROEH & THOMPSON, 2007).

Os principais cátions presentes no solo são parcialmente básicos ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ ) ou parcialmente ácidos ( $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+$ ) (TROEH & THOMPSON, 2007). A saturação por bases (V) pode ser definida como a proporção da capacidade de troca de cátions ocupada pelos cátions básicos. Desta forma, baixa porcentagem de saturação por bases significa que as micelas estão ocupadas por H e Al. A saturação por alumínio (m) é a porcentagem da CTC que está sendo ocupada por este elemento, e é considerado um dos melhores parâmetros de toxidez de Al em solos. (FAGERIA et al., 2003).

## 2.4 Exigências Nutricionais do Arroz Irrigado

Para manter a fertilidade dos solos em um nível adequado, é necessário saber, além dos parâmetros de fertilidade do solo, a exigência nutricional da cultura (FAGERIA et al., 1995). Segundo Fornasieri Filho & Fornasieri (1993), o acúmulo de nutrientes em arroz irrigado segue a seguinte ordem:  $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{P} > \text{S} > \text{Mg} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{B} > \text{Cu} > \text{Cl}$ . Entretanto, segundo Fageria et al. (1995), a ordem difere um pouco, não citando valores para S, B e Cl, sendo a seguinte:  $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu}$ . Nas tabelas 2 e 3 são apresentados os acúmulos de nutrientes pela cultura do arroz irrigado.

TABELA 2 - Extração de nutrientes para produzir uma tonelada de grãos de arroz

<b>N (kg)</b>	<b>P (kg)</b>	<b>K (kg)</b>	<b>Ca (kg)</b>	<b>Mg (kg)</b>	<b>Fe (g)</b>	<b>Mn (g)</b>	<b>Zn (g)</b>	<b>Cu (g)</b>
20	4,5	34	5,3	3,2	788	718	113	32

Fonte: Fageria et al. (1995).

TABELA 3 – Teores de minerais encontrados no arroz em diversas partes da planta

<b>Parte da Planta</b>	<b>Matéria Seca (kg)</b>	<b>N (kg)</b>	<b>P (kg)</b>	<b>K (kg)</b>	<b>Ca (kg)</b>	<b>Mg (kg)</b>	<b>S (kg)</b>
Folhas	504	3,6	0,2	4,1	3,2	0,4	0,4
Colmos	746	4,6	1,2	20,0	1,2	0,3	0,9
Grãos	1000	11,6	2,0	4,3	1,0	1,0	1,5
<b>Total</b>	<b>2250</b>	<b>19,9</b>	<b>3,5</b>	<b>28,7</b>	<b>5,4</b>	<b>1,8</b>	<b>2,8</b>

<b>Parte da Planta</b>	<b>Matéria Seca (kg)</b>	<b>B (g)</b>	<b>Cu (g)</b>	<b>Cl (g)</b>	<b>Fe (g)</b>	<b>Mn (g)</b>	<b>Zn (g)</b>
<b>Total</b>	<b>2250</b>	<b>20,3</b>	<b>8,9</b>	<b>3,9</b>	<b>28,4</b>	<b>80,6</b>	<b>83,7</b>

Fonte: Fornasieri Filho & Fornasieri (1993).

## 2.5 Levantamentos anteriores sobre Fertilidade dos Solos Arrozeiros

Não foram encontrados levantamentos sobre a fertilidade dos solos do município de Itaqui, entretanto foi realizado por Bueno & Lemos (2006) um levantamento sobre o município de Uruguaiana, onde foi constatado que o sistema de cultivo mínimo promoveu substancial redução na degradação física e química do solo, resultando em acréscimo na fertilidade dos solos desse município. Também foi encontrado um trabalho de Boeni et al. (2010), onde foi realizado um levantamento sobre o Estado do Rio Grande do Sul e suas regiões arrozeiras, confrontando com os valores encontrados por Anghinoni et al. (2004) em levantamento anterior, realizando assim um trabalho sobre a evolução da fertilidade dos solos no Estado, onde foi concluído que há grandes diferenças nos atributos de fertilidade dentro das regiões arrozeiras, sendo que a fertilidade do Estado como um todo pode ser classificada como média; houve melhoria nas condições de acidez dos solos arrozeiros do Estado nesse período; a Fronteira Oeste é a região mais deficiente em fósforo disponível; os solos das lavouras de arroz são predominantemente arenosos e com baixo teor de matéria orgânica, proporcionando uma acidez potencial baixa a média; os maiores rendimentos de arroz, obtidos nas regiões da Fronteira Oeste e na Campanha, estão associados às melhores condições de fertilidade de seus solos.

## **3 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1 Obtenção dos Laudos**

Para realizar este levantamento, no município de Itaqui, no ano de 2013, foram coletados laudos de análises de solo da safra 2012/2013 de áreas onde é cultivado arroz irrigado. Os laudos foram obtidos com o 19º Núcleo de Assistência Técnica e Extensão Rural (19º NATE) do IRGA, localizado na cidade de Itaqui e também com a AGEFER Insumos Agrícolas, empresa que presta serviços de consultoria para produtores.

O número de laudos utilizados para este trabalho foi de 427, sendo que 310 foram obtidas com o 19º NATE e 117 com a AGEFER. Os 310 laudos do 19º NATE continham resultados de teor de argila, pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, capacidade de troca de cátions, matéria orgânica, saturação por alumínio e saturação por bases. Já os 117 laudos obtidos com a AGEFER tinham, além das análises contidas nos laudos do 19º NATE, teores de enxofre, cobre, zinco, manganês, boro e ferro.

### **3.2 Interpretação dos Laudos**

Os resultados destes laudos foram enquadrados em faixas de interpretação indicadas pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS RS/SC, 2004). Os índices de fertilidade interpretados foram pH em água, capacidade de troca de cátions, saturação por bases e por alumínio, teores de cálcio e magnésio trocáveis, teores de matéria orgânica e argila, teores de fósforo e potássio disponíveis, usando o total de 427 amostras e teores de enxofre extraível, cobre, boro, zinco, manganês e ferro, utilizando 117 amostras.

#### **3.2.1 Faixas de Interpretação**

Após a interpretação, foi feita a distribuição de frequência (porcentagem) dos dados. Os valores de pH em água foram agrupados em:  $\leq 5,0$ ; 5,1-5,4; 5,5-6,0 e  $> 6,0$ , os valores de saturação por bases foram separados em:  $< 45\%$ ; 45-64%; 65-



80% e > 80% e os valores de saturação por alumínio em: < 1%; 1-10%; 10,1-20% e > 20%. Esses valores correspondem a, respectivamente, Muito Baixo, Baixo, Médio e Alto (CQFS RS/SC, 2004)

Valores de argila foram agrupados em:  $\leq 20\%$ ; 21-40%; 41-60% e  $> 60\%$ , correspondendo a Classes 4, 3, 2 e 1 de solo, respectivamente. Teores de matéria orgânica foram classificados em:  $\leq 2,5\%$ ; 2,6-5,0% e  $> 5,0\%$  e teores de CTC em  $\leq 5,0$ ; 5,1-15,0 e  $> 15,0$   $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , como Baixo, Médio e Alto, respectivamente (CQFS RS/SC, 2004).

Segundo a CQFS RS/SC (2004), para P disponível, são desconsideradas as classes de solo, pois em solos alagados há a predominância de reações de redução que, como já visto anteriormente, aumentam a disponibilidade de P. Foram utilizados os valores indicados no manual para Solos Alagados, que são apropriados para arroz irrigado, e dessa forma foram agrupados em:  $\leq 3,0$ ; 3,1-6,0; 6,1-12,0 e  $> 12,0$   $\text{mg dm}^{-3}$ , como Baixo, Médio, Alto e Muito Alto, respectivamente.

A interpretação de potássio disponível varia conforme a interpretação da CTC dos solos. Foram enquadrados da seguinte maneira: para teores Altos de CTC:  $\leq 30$ , 31-60, 61-90, 91-180 e  $> 180$   $\text{mg dm}^{-3}$  para teores Médios de CTC:  $\leq 20$ ; 21-40; 41-60; 61-120 e  $> 120$   $\text{mg dm}^{-3}$ ; para teores Baixos de CTC:  $\leq 15$ ; 16-30; 31-45; 46-90 e  $> 90$   $\text{mg dm}^{-3}$ , correspondendo a, respectivamente, Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto, conforme indicado por CQFS RS/SC (2004).

Os teores de cálcio e magnésio trocáveis e de enxofre extraível foram enquadrados em três faixas, Baixo, Médio e Alto, correspondendo, respectivamente, aos valores de:  $\leq 2,0$ ; 2,1-4,0 e  $> 4,0$   $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para Ca;  $\leq 0,5$ ; 0,6-1,0 e  $> 1,0$   $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para Mg e  $\leq 2,0$ ; 2,1-5,0 e  $> 5,0$   $\text{mg dm}^{-3}$  para S (CQFS RS/SC, 2004).

Os teores de micronutrientes foram enquadrados em três intervalos: Baixo, Médio e Alto, que correspondem, respectivamente, aos valores de: < 0,2; 0,2-0,4 e  $> 0,4$   $\text{mg dm}^{-3}$  para Cobre; < 0,2; 0,2-0,5 e  $> 0,5$   $\text{mg dm}^{-3}$  para Zinco; < 0,1; 0,1-0,3 e  $> 0,3$   $\text{mg dm}^{-3}$  para Boro; < 2,5; 2,5-5,0 e  $> 5,0$   $\text{mg dm}^{-3}$  para Manganês. Os teores de ferro só foram enquadrados no intervalo Alto, que corresponde a  $> 5,0$   $\text{g dm}^{-3}$ , pois este valor pode estar relacionado a toxidez por ferro em arroz irrigado (CQFS RS/SC, 2004).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão apresentados na seguinte ordem: teor de argila, pH em água, matéria orgânica do solo, teor de fósforo disponível, teor de potássio disponível, teor de cálcio trocável, teor de magnésio trocável, capacidade de troca de cátions, saturação de bases, saturação por alumínio, teor de enxofre extraível, teor de cobre, zinco, manganês, boro e ferro.

### 4.1 Teor de argila

Foi verificado que 96% das amostras apresentam solos com classe 4 (56,7%) e classe 3 (39,3%), predominando assim solos de textura arenosa. Esse fato pode estar relacionado com a idade dos solos da região, que são jovens, além do material de origem dos mesmos. No município de Itaqui ocorrem principalmente Luvisolos, Plintossolos e Chernossolos (MUNARETO et al., 2010), além de Neossolos rigolíticos (STRECK et al., 2008).

Em 80,3% das amostras analisadas o teor de argila era menor que 25%. Boeni et al. (2010) encontrou valores de 89,4% para o Estado e 71,9% para a Fronteira Oeste com menos de 25% de argila. Solos com baixo teor de argila, em geral, têm menor capacidade de retenção de água e menor capacidade de adsorção de cátions, além de menores teores de matéria orgânica, favorecendo a lixiviação de nutrientes. Apenas 3,9% das amostras apresentam porcentagens de argila acima de 40%, sendo esse valor um pouco superior a Fronteira Oeste (2,5% acima dos 40% de argila) e ao Estado (0,6% acima de 40% de argila) (BOENI et al., 2010). Itaqui tem solos que diferem pouco do restante do Estado e da Fronteira Oeste em relação ao teor de argila. Na figura 3 são apresentados os valores de argila para lavouras no município de Itaqui.

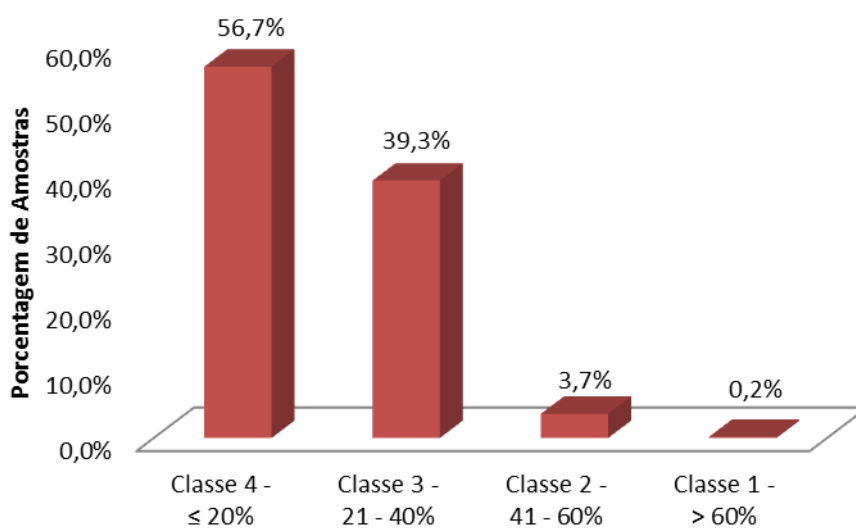


FIGURA 3 - Distribuição das classes de solos e teores de argila dos solos cultivados com arroz irrigado em Itaqui.

#### 4.2 pH em água

Observa-se pela figura 4 que em Itaqui há predomínio de solos ácidos. Em mais da metade das amostras (59,5%) o pH encontra-se abaixo de 5,0, valor considerado muito baixo. Levando-se em consideração o valor de 5,4, o qual é considerado pela CQFS RS/SC (2004) como um dos critérios de decisão para aplicação de calcário, junto com a saturação por bases, em arroz irrigado, o valor é ainda maior (86,4%), sendo ainda superior aos encontrados por Boeni et al. (2010) para Fronteira Oeste (65,2%) e para o Estado (77,6%). Apenas uma pequena parte das amostras (13,6%) apresentam valores de pH médios e altos, considerados satisfatórios pela CQFS RS/SC (2004) para arroz irrigado, valores inferiores aos encontrados por Boeni et al. (2010) para a Fronteira Oeste (34,8%) e para o Estado (22,3%). Na figura 4 são apresentados os valores de pH referentes às lavouras no município de Itaqui.

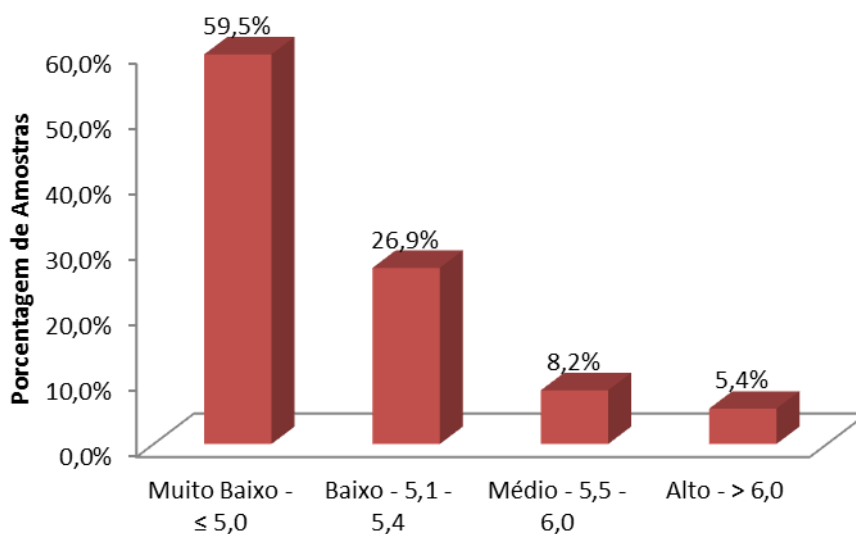


FIGURA 4 - Distribuição das faixas de pH dos solos cultivados com arroz irrigado no município de Itaqui.

Itaqui apresenta solos com excessiva acidez, que refletem em menor disponibilidade de nutrientes para as plantas e aumento nos níveis de elementos tóxicos, como o Al. Levando em consideração que após o alagamento o pH demora algumas semanas para se estabilizar, a cultura do arroz fica tempo demasiado em contato com essa acidez excessiva. Na Fronteira Oeste e para restante do Estado os valores também são altos, apesar de serem menores do que os de Itaqui.

Alguns dos fatores que levam a acidificação do solo são a adubação (como os fertilizantes nitrogenados e fosfatados, por exemplo) e a extrusão de íons  $H^+$  pela raízes (quando são absorvidos cátions pela planta, há a liberação de  $H^+$  para manter o equilíbrio eletroquímico). Aparentemente tem se dado pouca importância ao uso de calcário em arroz irrigado, devido às reações de redução que elevam o pH.

Os baixos valores de pH estão diretamente relacionados com os valores baixos de V e altos de m encontrados nas amostras de Itaqui.

### 4.3 Matéria orgânica do solo

A maioria das amostras (84,1%) apresentaram valores considerados baixos de matéria orgânica, enquanto 15,2% das amostras apresentou valores médios e 0,7% apresentou valores considerados altos. Boeni et al. (2010) encontrou valores superiores aos de Itaqui, com 50,4% e 71,1% na faixa baixo, 30,0 e 13,4% médio e

19,6 e 15,5% alto, para a Fronteira Oeste e para o Estado, respectivamente. Na tabela 4 são apresentados os valores de matéria orgânica de Itaqui, da Fronteira Oeste e do Estado do Rio Grande do Sul e na figura 5 são apresentados os valores de matéria orgânica referentes as lavouras no município de Itaqui.

TABELA 4 – Dados referentes aos teores de matéria orgânica em Itaqui, na Fronteira Oeste e no Rio Grande do Sul

Matéria Orgânica	Itaqui	Fronteira Oeste	Rio Grande do Sul
Baixo – $\leq 2,5\%$	84,1%	50,4%	71,1%
Médio – 2,6 – 5,0%	15,2%	30,0%	13,4%
Alto – $> 5,0\%$	0,7%	19,6%	15,5%

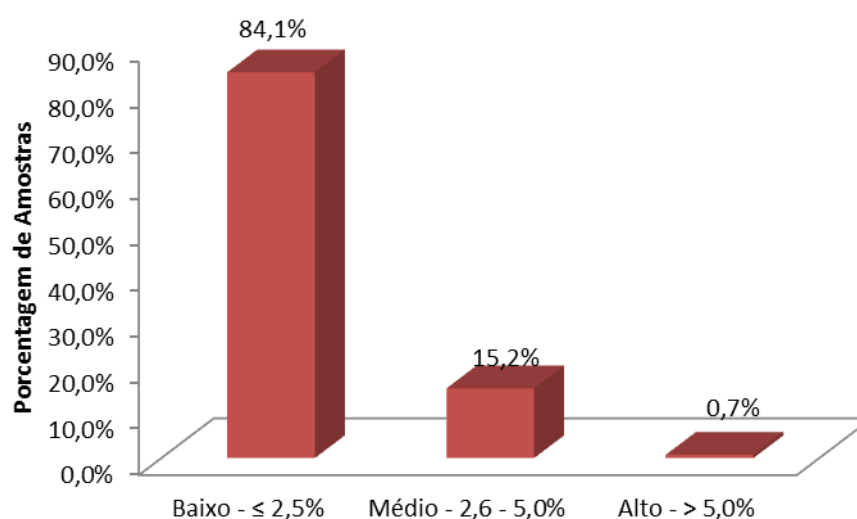


FIGURA 5 - Distribuição das faixas de matéria orgânica dos solos cultivados com arroz irrigado em Itaqui.

Se forem levadas em consideração apenas as amostras com menos de 1% de matéria orgânica o valor é de 26,9% e, segundo Troeh & Thompson (2007), solos com menos de 1% de matéria orgânica são encontrados, geralmente, em locais desérticos. Grande parte dessas amostras com teores excessivamente baixos de matéria orgânica (menor que 1%), também apresentaram valores abaixo de  $10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de CTC, mostrando a importância da matéria orgânica na CTC, que pode ser melhorada se os teores de matéria orgânica forem elevados.

O excesso de revolvimento causado pelo preparo do solo acaba por desagregá-lo, expondo uma fração muito estável da matéria orgânica que está associada aos minerais e, dessa forma, ficando disponível para a decomposição dos micro-organismos. Tais fatores, associados à textura do solo (arenosa), ao pouco aporte de matéria orgânica nesses solos, e ao clima favorável a decomposição, levaram a valores tão baixos que reforçam que a cultura do arroz e seu manejo diminuem os teores de matéria orgânica do solo.

Apesar de Itaqui estar localizada na Fronteira Oeste, seus valores diferem muito da sua própria região, assim como diferem também do restante do Estado, sendo que o seu panorama é pior quando comparado com estes. Isso indica que é necessário o aprimoramento das técnicas de manejo da cultura do arroz irrigado, de modo a melhorar os índices de matéria orgânica destes solos.

#### 4.4 Fósforo disponível

Para os teores de fósforo disponível (Mehlich-1) há o predomínio de amostras apresentando teores baixos (43,6%) e médios (40,3%), e uma pequena parcela com teores altos (11,2%) e muito altos (4,9%). Segundo Boeni et al. (2010), a situação da Fronteira Oeste é a seguinte: baixos 22,5%; médios 51,2%; altos 18,4% e muito altos 8,0%, e do Estado: baixos 8,2%; médios 30,8%; altos 30,2% e muito altos 30,8%. Na tabela 5 são apresentados os valores de fósforo disponível para Itaqui, Fronteira Oeste e o Estado do Rio Grande do Sul e na figura 6 são apresentados os valores de fósforo disponível para lavouras no município de Itaqui.

TABELA 5 – Dados referentes aos teores de fósforo disponível em Itaqui, na Fronteira Oeste e no Rio Grande do Sul

Fósforo Disponível (mg dm <sup>-3</sup> )	Itaqui	Fronteira Oeste	Rio Grande do Sul
Baixo – ≤ 3,0	43,6%	22,5%	8,2%
Médio – 3,1 – 6,0	40,3%	51,2%	30,8%
Alto – 6,1 – 12,0	11,2%	18,4%	30,2%
Muito Alto – > 12,0	4,9%	8,0%	30,8%

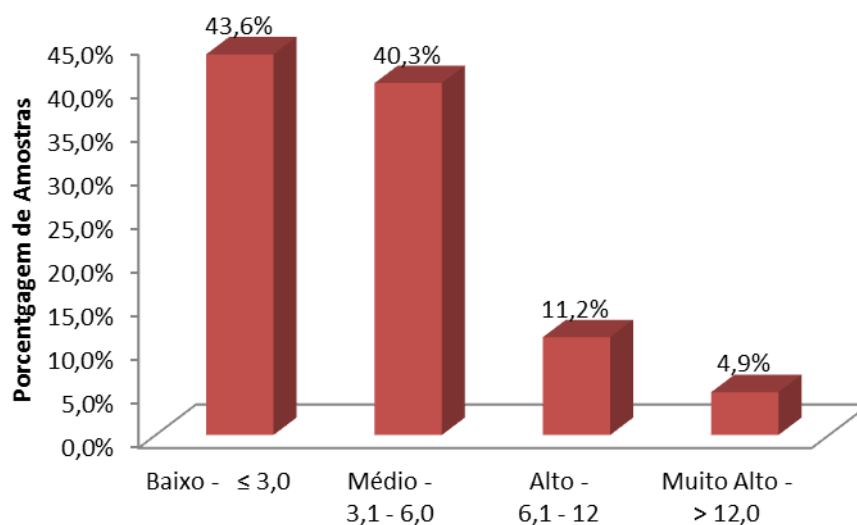


FIGURA 6 - Distribuição das faixas de fósforo disponível dos solos cultivados com arroz irrigado em Itaqui.

Aparentemente tem se dado pouca importância ao P, pois 83,9% das amostras estão abaixo do teor crítico ( $6,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e apenas 16,1% estão acima deste (em teores acima do crítico a probabilidade de retorno econômico na aplicação de tal nutriente é nula ou baixa, apenas ocorre a manutenção e reposição), e quando compara-se com os níveis de K encontrados nesse trabalho, pode-se inferir que o P foi deixado em segundo plano quando comparado a este. Já comparando os teores de P encontrados para Itaqui com os encontrados por Boeni et al. (2010), há a constatação de que a situação é pior quando comparado a Fronteira Oeste, porém com pouca diferença, e ao Estado, neste caso, com grande diferença. Há a necessidade de uma adubação mais balanceada, de modo a melhorar os níveis de P.

#### 4.5 Potássio disponível

Observa-se um predomínio de solos com um teor alto de K (41,9%), um número pequeno de amostras com teores muito baixos (8,7%) e muito altos (4,4%). Para o restante das amostras foi observado um número considerável com teores baixos (21,8%) e médios (23,2%). Segundo Boeni et al. (2010), no Estado há uma quantidade significativa de solos com teores baixos e muito baixos (40% incluindo as duas faixas de interpretação), médios (28%) e altos (cerca de 27%), com uma

pequena parte na faixa de muito alto (cerca de 4,6%). Na figura 7 são apresentados os valores de potássio disponível para lavouras no município de Itaquí.

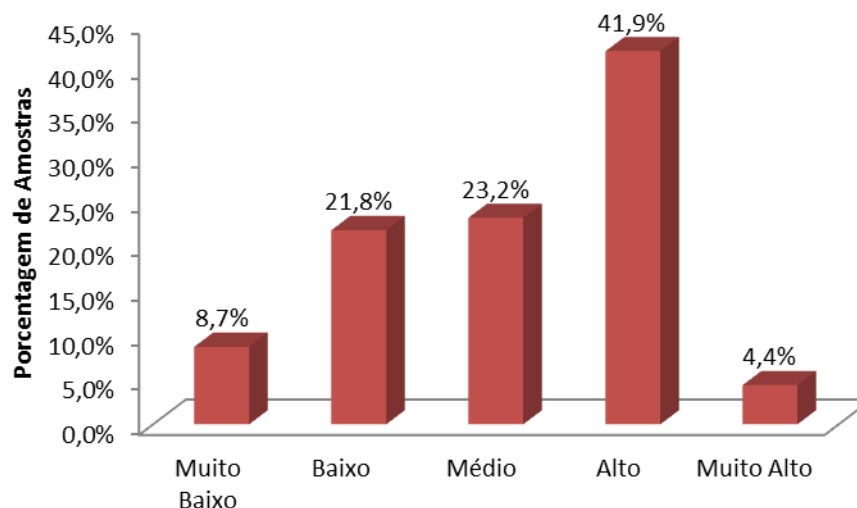


FIGURA 7 - Distribuição das faixas de potássio disponível dos solos cultivados com arroz irrigado em Itaquí.

Pode-se notar que 46,3% das amostras apresentam teores acima do teor crítico ( $90 \text{ mg dm}^{-3}$ ,  $60 \text{ mg dm}^{-3}$  e  $45 \text{ mg dm}^{-3}$  para CTC maior que  $15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , entre 15 e  $5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e menor que  $5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente), e 53,7% abaixo, e esta é uma situação melhor do que a do Estado (31,6% acima e 68,4% abaixo do teor crítico). Foram encontrados níveis mais adequados quando comparados a P, levando a acreditar que a adubação tem priorizado o K, talvez devido a este ser o nutriente mais extraído pela planta de arroz.

#### 4.6 Cálcio trocável

Observa-se que a maior parte das amostras do município de Itaquí tem o teor de Ca alto (48%). O restante das amostras apresentam teores médios (24,6%) e baixos (27,4%). Segundo Boeni et al. (2010), o panorama no Estado é diferente, onde há predominância do teor baixo (42,4%) e o restante dividido em médio (28,9%) e alto (28,7%). Na Fronteira Oeste também é diferente, porém, melhor, onde grande parte (72,6%) apresenta teores altos, e uma menor parte médios (14%) e baixos (13,4%). Na tabela 6 são apresentados os valores de cálcio trocável para



Itaqui, Fronteira Oeste e o Estado do Rio Grande do Sul e na figura 8 são apresentados os valores de cálcio trocável para lavouras no município de Itaqui.

TABELA 6 - Dados referentes aos teores de cálcio trocável em Itaqui, na Fronteira Oeste e no Rio Grande do Sul

Cálcio Trocável ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	Itaqui	Fronteira Oeste	Rio Grande do Sul
Baixo – $\leq 2,0$	27,4%	13,4%	42,4%
Médio – $2,1 - 4,0$	24,6%	14,0%	28,9%
Alto – $> 4,0$	48,0%	72,6%	28,7%

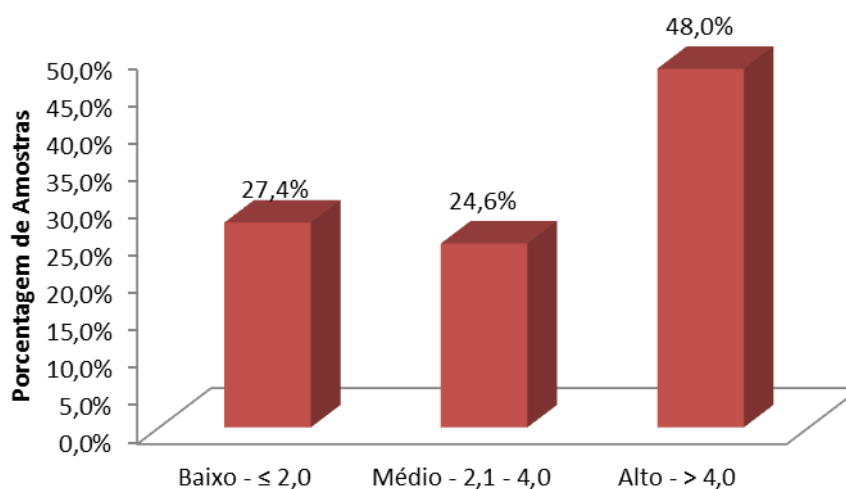


FIGURA 8 - Distribuição das faixas de cálcio trocável dos solos cultivados com arroz irrigado em Itaqui.

Os teores de Ca para Itaqui são superiores aos encontrados para o Estado, entretanto inferiores a Fronteira Oeste. Grande parte das amostras estão em níveis satisfatórios (72,6%), restando apenas uma pequena parte com níveis inadequados (27,4%), onde é recomendada a aplicação de calcário para adequar os níveis de Ca. A grande maioria das amostras que tinham teores baixos de Ca, também tinham teores baixos de Mg e baixos e próximos de baixo de CTC (teores menores que  $7,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), além de V baixa e m alta.

#### 4.7 Magnésio trocável

O que foi constatado para Ca também foi para Mg, com a maior parte das amostras com teores altos (54,3%), e o restante divididos em teores baixos (23,7%) e médios (22%). Segundo Boeni et al. (2010), no Estado os teores altos também são maioria (47,2%), seguindo de baixo (26,4%) e médio (26,3%). Os solos da Fronteira Oeste parecem mais bem providos deste nutriente, onde 79,7% das amostras apresentam teores altos e o restante divididos em baixos (10,3%) e médios (10,0%). Na tabela 7 são apresentados os valores de magnésio trocável para Itaqui, Fronteira Oeste e o Estado do Rio Grande do Sul e na figura 9 são apresentados os valores de magnésio trocável para lavouras no município de Itaqui.

TABELA 7 - Dados referentes aos teores de magnésio trocável em Itaqui, na Fronteira Oeste e no Rio Grande do Sul

Magnésio Trocável ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	Itaqui	Fronteira Oeste	Rio Grande do Sul
Baixo – $\leq 0,5$	23,7%	10,3%	26,4%
Médio – $0,6 - 1,0$	22,0%	10,0%	26,3%
Alto – $> 1,0$	54,3%	79,7%	47,2%

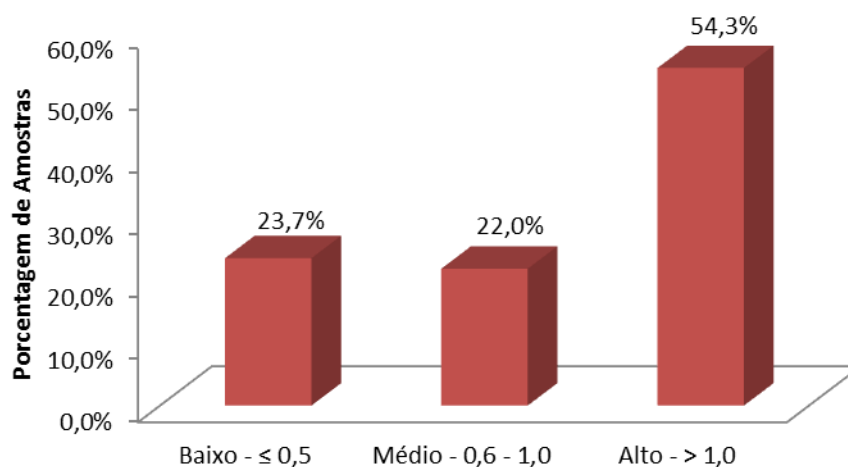


FIGURA 9 - Distribuição das faixas de magnésio trocável dos solos cultivados com arroz irrigado em Itaqui.

É um panorama semelhante ao do Estado, porém, como para Ca, bem inferior ao da sua própria região. Há 23,7% de amostras onde é necessária a aplicação de calcário para corrigir os níveis de Mg. Como já dito para Ca, a maioria das amostras que tinham teores baixos de Mg também tinham teores baixos de Ca e teores baixos ou próximos de baixo de CTC (teores menores que  $7,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), além de uma V baixa e m alta.

#### 4.8 Capacidade de troca de cátions (CTC)

Houve um predomínio de amostras com teores médios de CTC (60,2%), seguindo de teores altos (34,4%) e uma pequena parte com teores baixos (5,4%). Segundo Boeni et al. (2010), para o Estado os valores são os seguintes: 18,3% baixos, 67,4% médios e 14,3% altos. Na tabela 8 são apresentados os valores de CTC para Itaqui, Fronteira Oeste e o Estado do Rio Grande do Sul e na figura 10 são apresentados os valores de CTC para lavouras no município de Itaqui.

TABELA 8 - Dados referentes aos teores de CTC em Itaqui e no Rio Grande do Sul

CTC ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	Itaqui	Rio Grande do Sul
Baixo – $\leq 5,0$	5,4%	18,3%
Médio – $5,1 - 15,0$	60,2%	67,4%
Alto – $> 15,0$	34,4%	14,3%

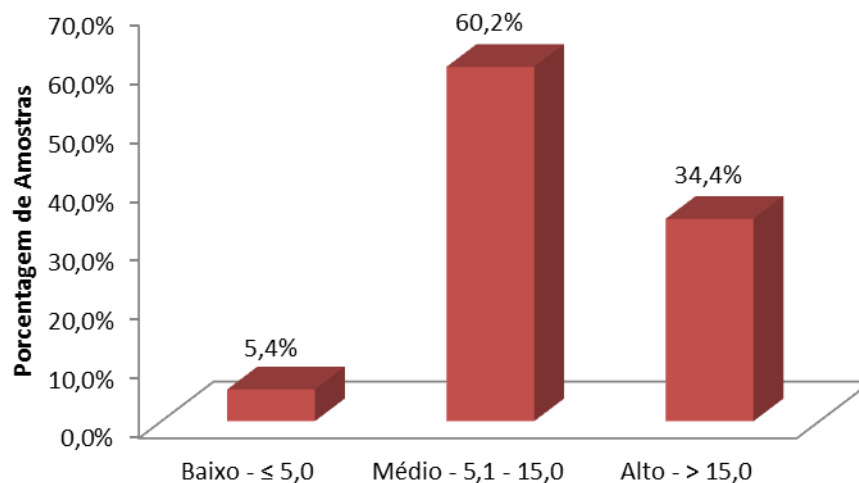


FIGURA 10 - Distribuição das faixas de CTC dos solos cultivados com arroz irrigado em Itaqui.

Apesar de os solos do município de Itaqui ter índices de matéria orgânica mais baixos que o do Estado, em relação a CTC a situação é melhor, com valores para os teores médios semelhantes diferindo nos teores baixos e altos. Tal fato pode estar relacionado com o material de origem dos solos encontrados na região.

Há um grande número de amostras (46%) com teores abaixo de  $10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , estando relacionados com um teor de matéria orgânica excessivamente baixo (menor que 1%) e com teores baixos e médios de Ca e Mg. Apesar de Itaqui ter valores de CTC superiores ao do Estado, estes podem ser melhorados, pois se os valores de matéria orgânica forem corrigidos, os valores de CTC irão subir com o benefício de se ter uma maior retenção de cátions.

#### 4.9 Saturação por bases (V)

Grande parte das amostras apresentavam valores muito baixos de V, sendo que 44,7% das amostras apresentavam valores muito baixos, 32,6% baixos, 15,7% médios e apenas 7,0% altos. O valor de 65% de V é um dos fatores levados em consideração para a aplicação de calcário em arroz irrigado e 77,3% das amostras estavam abaixo desse valor. Segundo Boeni et al. (2010), 27,9% das amostras da Fronteira Oeste apresentavam V abaixo de 60% e no Estado a porcentagem é de 63,7%, bem superior a Fronteira Oeste, enquanto a porcentagem encontrada para

Itaqui o valor foi de 70,0%, sendo ainda maior. Na figura 11 são apresentados os valores de V para lavouras no município de Itaqui.

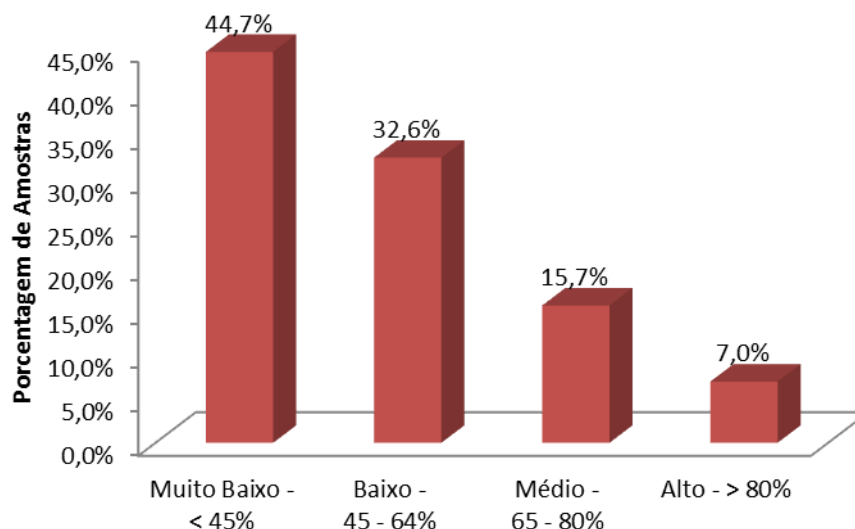


FIGURA 11 – Distribuição das faixas de V dos solos cultivados com arroz irrigado em Itaqui.

A baixa preocupação com a necessidade de utilização de calcário levou a tais valores, com grande porcentagem de amostras abaixo do recomendado, sendo que em Itaqui esse valor é um pouco superior ao Estado e muito superior ao da Fronteira Oeste, apresentando, assim, os piores índices de V. Estes valores estão relacionados com os baixos valores encontrados de pH e altos de m, além de valores baixos de Ca e Mg.

#### 4.10 Saturação por alumínio (m)

Para os solos do município de Itaqui, as porcentagens de cada faixa de interpretação de m são as seguintes: 15,2% muito baixo; 30% baixo; 25,3% médio e 29,5% alto. Ficou constatado que para valores de m acima de 10% o valor é de 55%, enquanto Boeni et al. (2010) encontrou no Estado um valor semelhante, de 54,6%, entretanto para a Fronteira Oeste um valor bem inferior, de 24,4%. Na figura 12 são apresentados os valores de m em lavouras no município de Itaqui.

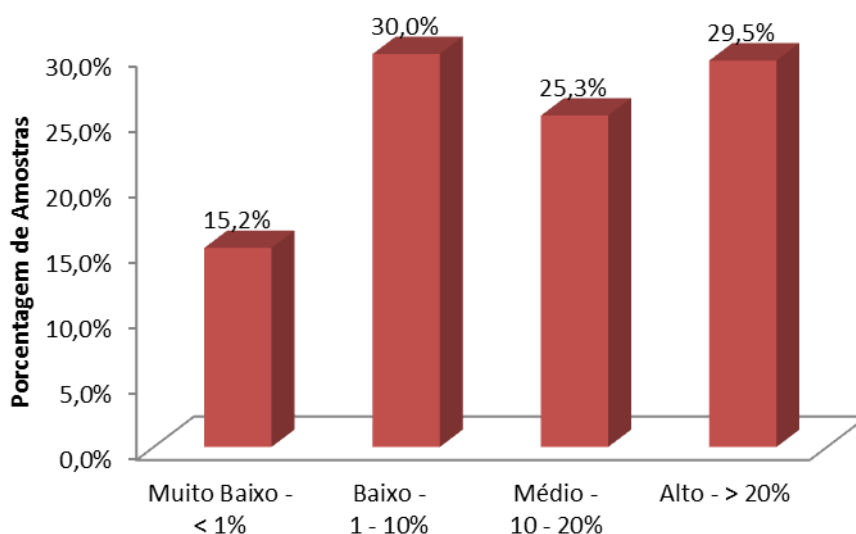


FIGURA 12 – Distribuição das faixas de m dos solos cultivados com arroz irrigado em Itaqui.

Como já constatado para outros parâmetros de fertilidade, Itaqui não difere muito do Estado, mas difere bastante de sua região, apresentando valores inferiores. É ainda mais um parâmetro que ressalta a pouca importância dada a aplicação de calcário para adequar os valores de pH, onde as amostras com alto valor de m apresentavam baixo pH e baixo valor de V.

Os altos valores de m, associados com os baixos teores de matéria orgânica (que tem a capacidade de complexar o Al e diminuir sua concentração na solução), indicam que esse elemento pode interferir negativamente nesse município, entretanto, segundo Fageria et al. (2003), o Al pouco influencia a cultura do arroz, pois ela tolera valores de até 70% de m, entretanto, tal valor parece demasiadamente alto.

#### 4.11 Enxofre extraível

Para os valores de S, 100% das amostras apresentaram teores satisfatórios, na faixa de interpretação alto, não havendo teores médios e baixos, então todas as amostras continham valores acima do nível crítico, onde a probabilidade de retorno econômico na sua aplicação é nula ou baixa. Entretanto, Carmona et al. (2009), realizou um trabalho de calibração do teor de enxofre para arroz irrigado nos solos da Depressão Central do Rio Grande do Sul e encontrou um valor crítico de 9,0 mg

$\text{dm}^{-3}$ , sendo superior ao utilizado pela CQFS RS/SC (2004). Utilizando-se esse teor crítico, 29,9% das amostras do município de Itaquí não alcançaram tal valor. Já SOSBAI (2012) estabelece um teor crítico ainda superior, de  $10 \text{ mg dm}^{-3}$  e utilizando-se esse valor, 40,2% das amostras estão abaixo. Tal fato, aliado aos baixos teores de matéria orgânica encontrados, caracteriza essas áreas como potencialmente susceptíveis a deficiência de S.

#### 4.12 Teores de micronutrientes

Para os valores de Cu, Zn e Mn, todas as amostras (100%) apresentaram valores satisfatórios, na faixa de interpretação alto. Entretanto, para B os valores foram diferentes, onde 69,2% apresentavam valores médios e 30,8% valores altos. Vale ressaltar, que enquanto os outros micronutrientes apresentavam valores muito acima dos considerados altos, os valores de B não eram superiores à  $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ . Na figura 13 são apresentados os valores de B em lavouras no município de Itaquí.

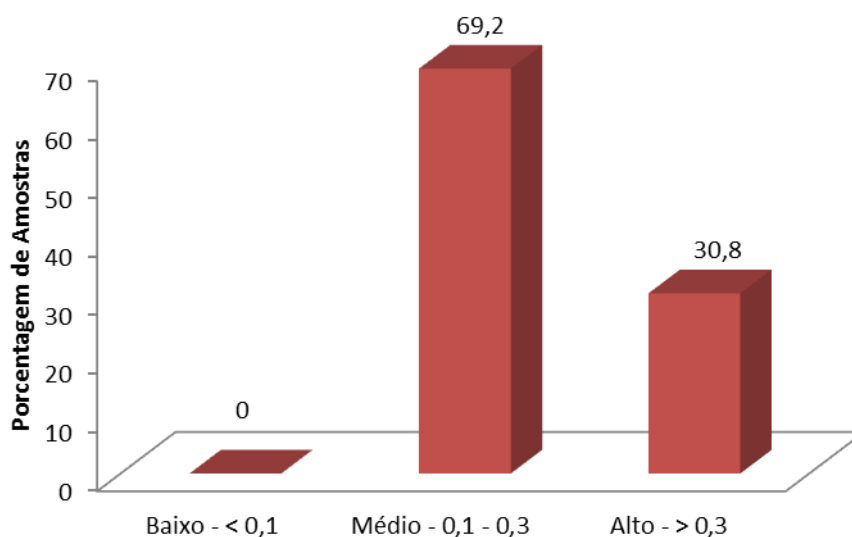


FIGURA 13 – Distribuição das faixas de boro dos solos cultivados com arroz irrigado em Itaquí.

Segundo Fageria et al. (2003), o teor adequado de B para a cultura do arroz irrigado é de  $0,7 \text{ mg dm}^{-3}$ , e nenhuma das 117 amostras apresentou esse valor, então deve-se ter maior atenção com esse micronutriente nesse município, onde,

aparentemente, a maioria dos produtores obtêm laudos ausentes dos teores de micronutrientes.

Já para Fe, 24 amostras (20,5%) apresentaram valores altos, que podem apresentar relação com a ocorrência de toxidez, não sendo recomendado a utilização de cultivares suscetíveis. Segundo SOSBAI (2012), a forma mais econômica é o uso de cultivares resistentes, porém também é indicada a calagem do solo, e em casos específicos a irrigação intermitente, mas com muito cuidado, pois em alguns momentos do ciclo da planta de arroz a água no solo é indispensável, e além disso, essa prática favorece a perda de nutrientes e a reinfestação da lavoura com plantas daninhas.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração os teores críticos de P, K, Ca e Mg, 93,2% das amostras apresentaram deficiência de algum desses nutrientes.

Muito dos problemas diagnosticados, como excessiva acidez, baixa V, alto m, deficiência de Ca e Mg, podem ser resolvidos com aplicação de calcário, uma vez que 75,2% das amostras estão dentro dos critérios de decisão (pH menor que 5,5 e V menor que 65%, ou teores de Ca ou Mg menores que 2,0 e 0,5  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  respectivamente) para a aplicação desse corretivo.

Os níveis de K, Ca e Mg se encontram satisfatórios, sendo necessária a correção dos níveis de P no município de Itaqui, assim como elevar os teores de matéria orgânica do solo.

Deve-se destinar maior atenção para os teores de S e de micronutrientes (em especial o B) nesse município, onde, aparentemente, a maioria dos produtores obtêm laudos incompletos (análises básicas).

De modo geral, os solos arroseiros de Itaqui são menos férteis que os solos arroseiros da Fronteira Oeste e do Rio Grande do Sul.

A fertilidade dos solos de Itaqui é um fator que está limitando a produtividade, que pode ser superior se o manejo da adubação for corrigido.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGHINONI, I. et al. **Fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. Cachoeirinha: IRGA. Divisão de Pesquisa, 2004, 51p. (Boletim Técnico).

ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RS. Disponível em: <http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/atlas.asp?menu=264>. Acesso em: 20 ago. 2013.

BOENI, M. et al. **Evolução da fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. Cachoeirinha: IRGA/Estação Experimental. Seção de Agronomia, 2010. 40p (Boletim Técnico, 9).

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 11 ed. New York: Prentice Hall, 1996. 740p.

BUENO, A. da C.; LEMOS, C. A. S. Levantamento da fertilidade do solo cultivado com arroz irrigado no município do Uruguaiiana. **Revista da FZVA**. Uruguaiiana, v.13, n.1, p. 41-51. 2006.

CAMARGO, F. A. de O.; SANTOS, G. de A.; ZONTA, E. Alterações eletroquímicas em solos inundados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 171-180, 1999.

CARMONA, F de C. et al. Disponibilidade no solo, estado nutricional e recomendação de enxofre para o arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p.345-355, 2009.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA. **Manual de Adubação e de Calagem** para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo regional Sul, Porto Alegre, 2004, 390p.

CONAB, **Acompanhamento de safra brasileira: grãos**, nono levantamento, julho 2013, Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília, 2013.

DICK, D.P. et al.; Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Ed.) **Química e Mineralogia do Solo: Parte 2 – Aplicações**. 2v, Viçosa, SBCS, 2009, 685p.

DOS SANTOS, A. B.; FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Atributos químicos do solo afetado pelo manejo da água e do fertilizante potássico na cultura do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.12-16, 2002.

EMBRAPA, **Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil: Solos Cultivados com Arroz Irrigado na Região Subtropical do RS e SC**, 2005. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil>. Acesso em: 23 ago. 2013.

FAGERIA, N. K. et al. **Seja o doutor do seu arroz**. Arquivo do Agrônomo Nº 9. POTAFOS. Piracicaba-SP, 1995, 11p.

FAGERIA, N.K.; STONE, L.F.; SANTOS, A.B.; **Manejo da Fertilidade do Solo para o Arroz Irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003, 250p.

FEDERARROZ, **Histórico da Federarroz**, Federação das Associações de Arrozeiros do Estado do Rio Grande do Sul, 2011. Disponível: <http://www.federarroz.com.br>. Acesso em: 20 ago. 2013.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: FUNEP, 1993. 221p.

FUNGHETTO, C. I. et al. Desempenho de sementes de arroz irrigado recobertas com zinco. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 32, nº 2 p. 117-123, 2010.

GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 899p.

IBGE, Cidades. **Arroz (em casca) – Rendimento médio, Comparação entre os Municípios: Rio Grande do Sul.** 2011. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/comparamun/compara.php?coduf=43&idtema=100&codv=v25&order=dado&dir=desc&lista=uf&custom>. Acesso em: 3 jul. 2013.

IBGE, Cidades. **Rio Grande do Sul: Itaqui.** 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php?codmun=431060>. Acesso em: 25 ago. 2013

IRGA, **Produtividades Municipais – Safra 2012/2013.** 2013. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/4176/irga-divulga-resultados-da-safra-por-municípios>. Acesso em: 28 ago. 2013.

LEITE, R. F. C. et al. Rendimento e qualidade de sementes de arroz irrigado em função da adubação com boro. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 33, nº 4, p.785-791, 2011.

MARCHEZAN, E. et al. Adubação foliar com micronutrientes em arroz irrigado, em área sistematizada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.6, p.941-945, 2001.

MORAES, J.F.V.; DYNIA, J.F. Alterações nas características químicas e físico-químicas de um solo Gley Pouco Húmico sob inundação e após a drenagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.2, p.223-235, 1992.

MOTA, F.S. da. Disponibilidade de radiação solar e risco de frio no período reprodutivo do arroz irrigado em diferentes regiões do Rio Grande do Sul. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 48, n. 424, p.8-10, 1995.

MUNARETO, J.D. et al. Propriedades físicas do solo e produtividade de arroz irrigado por inundação no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.12, p.1499-1506, 2010.

PONNAMPERUMA, F.N. **Physicochemical properties of submerged soils in relation to fertility.** Manila: IRRI, 1977. 32 p. il. (IRRI. Research Paper, 5).

PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**. 24:29-96, 1972.

REIS, M. de S. et al. Absorção de N, P, K, Ca, Mg e S pelo arroz irrigado influenciada pela adubação nitrogenada. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 707-713, 2005.

SOSBAI. **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Itajaí, SC: Reunião técnica da cultura do arroz irrigado, 2012, 179p.

STRECK, E.V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2 ed. rev. amp. Porto Alegre: Emater/RS-ASCAR, 2008, 222p.

SWAROWSKY, A. et al. Concentração de nutrientes na solução do solo, sob diferentes manejos do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.344–351, 2006.

TRINDADE, E. A. **A orizicultura irrigada em Itaqui: História, situação e perspectivas**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Itaqui, 2011, 54p.

TROEH, F.R.; THOMPSON, L.M.; **Solos e Fertilidade do Solo**. São Paulo, SP: Andrei, v.6, 2007, 718p.

VELLOSO, A.C.X., OLIVEIRA, C., LEAL, J.R., Processos redox em glei húmico do Estado do Rio de Janeiro: I. Variação das concentrações de Fe (II) e fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.1, p.27-34, 1993b.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños: International Rice Research Institute, 1981. 269p.

WIKIPEDIA, **Município de Itaqui**. 2013. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Itaqui>. Acesso em: 28 ago. 2013.