

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AGRÍCOLA

Vladison Fogliato Pereira

**BALANÇO NUTRICIONAL DE PLANTAS DE ARROZ IRRIGADO
PELO MÉTODO CND**

Santa Maria, RS
2022

Vladison Fogliato Pereira

BALANÇO NUTRICIONAL DE PLANTAS DE ARROZ IRRIGADO PELO MÉTODO CND

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação Profissional em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do título **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. Dr. Alencar Junior Zanon
Coorientador: Prof. Dr. Betania Vahl de Paula

Santa Maria, RS
2022

Pereira, Vladison Fogliato
BALANÇO NUTRICIONAL DE PLANTAS DE ARROZ IRRIGADO PELO
MÉTODO CND / Vladison Fogliato Pereira.- 2022.
63 f.; 30 cm

Orientador: Alencar Junior Zanon
Coorientadora: Betania Vahl De Paula
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2022

1. Oryza sativa L. 2. Diagnose foliar 3. Análise
multivariada composicional de nutrientes 4. Análise de
componentes principais I. Zanon, Alencar Junior II. De
Paula, Betania Vahl III. Título.

Vladison Fogliato Pereira

**BALANÇO NUTRICIONAL DE PLANTAS DE ARROZ IRRIGADO PELO
MÉTODO CND**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação Profissional em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do título **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Aprovada em 16 de março de 2022

Alencar Junior Zanon

**Alencar Junior Zanon, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)**

Filipe Selau Carlos

Filipe Selau Carlos, Dr. (UFPEL) – Videoconferência

Danilo Eduardo Rozane

Danilo Eduardo Rozane, Dr. (UNESP) – Videoconferência

Santa Maria, RS
2022

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre ao meu lado em cada tomada de decisão, dificuldade e batalha vencida;

Aos meus pais Vilson e Rosecler, por não medirem esforços para que este momento se tornasse possível, e minha irmã Andriele por toda ajuda durante o período;

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de ter realizado o Mestrado;

Aos meus orientadores e amigos, Prof. Alencar Junior Zanon, Prof. Gustavo Brunetto, Prof. Nereu Augusto Streck e Dra Betania de Paula, pelo grande exemplo de profissionalismo, ética e humanidade. Ao prof. Danilo Eduardo Rozane, por estar sempre auxiliando nos processos de construção deste trabalho. Obrigado por participarem da minha formação e por confiarem no meu potencial;

À minha namorada Roberta, pelo amor, companheirismo na vida e suporte em todos os momentos dessa jornada. E também aos filhos, em forma de cães, Yoda e Filomena, por estarem sempre presentes no dia e dia, e trazendo muitas alegrias;

Aos colegas da Equipe FieldCrops e Simanihot, com os quais pude dividir e compartilhar momentos incríveis e muito conhecimento. Agradeço também, pelos momentos de parceria junto aos amigos Thiago, Michel, Moises, Eduardo, Charles, Lorenzo e Ioran;

Ao IRGA, Unipampa, Unesp e todos os agricultores, pesquisadores e estudantes, pelo auxílio nas coletas durante este trabalho;

A todos outros que diretamente ou indiretamente contribuíram para que esse sonho fosse realizado, minha gratidão eterna.

"Try it once, twice, three times and if possible try the fourth, the fifth and as many times as necessary. Just don't give up on the first few attempts, persistence is a friend of conquest. If you want to get to where most people don't go, do the that most don't." – (Bill Gates)

RESUMO

BALANÇO NUTRICIONAL DE PLANTAS DE ARROZ IRRIGADO PELO MÉTODO CND

AUTOR: Vladison Fogliato Pereira

ORIENTADOR: Prof. Dr. Alencar Junior Zanon

O estado nutricional das plantas de arroz é um dos principais fatores que influenciam na produtividade da cultura. Entretanto, adubações minerais para altos rendimentos são responsáveis por altos custos de produção e frequentemente contaminações ambientais. A eficiência no uso de recursos é fundamental para a sustentabilidade do sistema arrozeiro. Os objetivos deste estudo são: 1) analisar a concentração de nutrientes na folha com base no método CND em regiões orizícolas do Rio Grande do Sul; 2) analisar a concentração de nutrientes no solo e relacionar com os nutrientes presentes na folha; 3) avaliar a composição nutricional das cultivares produzidas no estado; e 4) atualizar o *software* “CND-arroz irrigado” a partir dos resultados obtidos e gerar um registro. Foram coletadas análises de solo, tecido foliar e variáveis meteorológicas (temperatura máxima, mínima e radiação solar incidente), em 26 municípios no sul do Brasil, somando ao todo 96 lavouras comerciais. Empregou-se a metodologia CND-r² nos tecidos foliares. Foi possível estabelecer níveis críticos, faixas de suficiência e índices CND, para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn, Cu e B. Os resultados apontam um desbalanço positivo para K e B e um balanço negativo para S, seguindo as exigências do sistema atual de recomendação. A análise multivariada foi capaz de distinguir 5 grupos de genótipos com comportamento nutricionais distintos, das cultivares: BRS A701, BRS PAMPEIRA, GURI INTA CL, IRGA 424 RI e IRGA 431 CL. Estes resultados são importantes para fornecer informações sobre a nutrição da cultura e poderão auxiliar os produtores no manejo e nas recomendações de adubação, reduzindo os custos de produção e risco de contaminação ambiental.

Palavras chaves: *Oryza Sativa* (L.). Diagnose foliar. Análise de componentes principais. Análise composicional de nutrientes.

ABSTRACT

NUTRITIONAL BALANCE OF RICE PLANTS BY THE CND METHOD

AUTHOR: Vladison Fogliato Pereira
ADVISOR: Prof. Dr. Alencar Junior Zanon

The nutritional status of rice plants is one of the main factors that influence the productivity of the crop. However, mineral fertilizers for high yields are responsible for high production costs and often environmental contamination. Resource use efficiency is essential for the sustainability of the rice system. The objectives of this study are: 1) to analyze the concentration of nutrients in the leaf based on the CND method in rice-growing regions of Rio Grande do Sul; 2) analyze the concentration of nutrients in the soil and relate it to the nutrients present in the leaf; 3) to evaluate the nutritional composition of the cultivars produced in the state; and 4) develop a "CND-irrigated rice" software from the results obtained and generate a register. Soil, leaf tissue and meteorological variables (maximum and minimum temperature and incident solar radiation) were analyzed in 26 municipalities in southern Brazil, totaling 96 commercial field. The CND- r^2 methodology was used in leaf tissues. It was possible to establish critical levels, sufficiency ranges and CND indices for the nutrients N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn, Cu and B. The results indicate a positive balance for K and B and a negative balance for S, following the requirements of the current recommendation system. The multivariate analysis was able to distinguish 5 groups of genotypes with different nutritional behavior of the cultivars: BRS A701, BRS PAMPEIRA, GURI INTA CL, IRGA 424 RI and IRGA 431 CL. These results are important to provide information on crop nutrition and may help producers in management and fertilization recommendations, reducing production costs and risk of environmental contamination.

Palavras chaves: *Oryza Sativa* (L.). Diagnose foliar. Principal component analysis. Nutrient compositional analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metade do sul do Rio Grande do Sul e sua subdivisão nas regiões orizícolas estabelecidas pelo IRGA: Fronteira Oeste (1), Campanha (2), Região Central (3), Planície Costeira Interna (4), Planície Costeira Externa (5) e Zona Sul (6).....	16
Figura 2. Pontos de equilíbrio de balanços hierárquicos que representam uma sub composição nutricional.	17
Figura 3. Diagrama que indica a quantidade de fertilizantes (N+P ₂ O ₅ +K ₂ O) a ser aplicado em função do tempo e do equilíbrio destes nas folhas, em batata (<i>Pomme de terre</i>) e videira (<i>Vigne</i>).	19

ARTIGO - Diagnóstico do estado nutricional de cultivares de arroz irrigado pelo método cnd no sul do brasil

Figura 1. Localização das áreas experimentais de arroz irrigado em diferentes municípios do Estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil, América do Sul.	30
Figura 2. Ordem de limitação dos nutrientes, a partir das recomendações da Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado (SOSBAI, 2018), segundo a metodologia CND-r ² na cultura do arroz irrigado. Índice positivo (acima do zero) e negativo (abaixo do zero) representam excesso e deficiência, respectivamente.	40
Figura 3. (A) Relação entre o componente principal 1 (PC1) e componente principal 2 (PC2) dos parâmetros de alta e baixa produtividade. (B) Relação entre o componente principal 1 (PC1) e componente principal 2 (PC2) dos parâmetros produtividade, teores nutricionais de solo e tecido foliar, qualidade de grãos, dados meteorológicos e índices CND-r ² para a cultura do arroz irrigado em diferentes regiões produtoras do RS.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição das 96 lavouras comerciais amostradas, na safra 2019/2020, em 26 localidades no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.....	28
Tabela 2. Normas da diagnose da composição nutricional (CND) em arroz irrigado da população de referência.	34
Tabela 3. Modelos matemáticos das relações entre os teores dos nutrientes em folhas e os índices CND-r ² avaliados na cultura do arroz irrigado.....	35
Tabela 4. Níveis críticos (NC) e faixas de suficiência (FS) de nutrientes, calculados a partir do CND-r ² , em relações as FS propostas pela Sociedade Sul-Brasileira em Arroz Irrigado (SOSBAI, 2018) e Pereira et al, 2019.....	38

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 A CULTURA DO ARROZ IRRIGADO	15
3.2 AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL.....	17
3.3 EVOLUÇÃO DOS MÉTODOS DE ESTADO NUTRICIONAL DE PLANTAS	18
3.4 NIVEL CRITICO	20
3.5 FAIXA DE SUFICIÊNCIA	20
3.6 SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNOSE E RECOMENDAÇÃO (DRIS – <i>Diagnosis and Recommendation Integrated System</i>)	21
3.7 CND (<i>Compositional Nutrient Diagnosis</i>)	21
4. ARTIGO - DIAGNÓSTICO DO ESTADO NUTRICIONAL DE CULTIVARES ARROZ IRRIGADO PELO MÉTODO CND NO SUL DO BRASIL	23
ABSTRACT	24
RESUMO	25
INTRODUÇÃO	26
MATERIAIS E MÉTODOS	27
LOCALIZAÇÃO DAS LAVOURAS DE ARROZ IRRIGADO	27
CRITÉRIO DE SELEÇÃO DAS ÁREAS AMOSTRADAS.....	30
COLETA DE FOLHAS E DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS.....	30
DETERMINAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS	31
COLETA E DETERMINAÇÃO DE ANÁLISES DE SOLO	31
CÁLCULOS DO MÉTODO CND	31
DADOS METEOROLÓGICOS	33
ANÁLISES ESTATÍSTICAS	34
RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
EQUAÇÕES DE REGREÇÃO.....	35
FAIXAS DE SUFICIÊNCIA.....	36
ÍNDICES DE DESBALANÇO	40

RELAÇÕES DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL (CND), VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS, ZONAS DE PRODUTIVIDADE E QUALIDADE GRÃOS, ATRAVÉS ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA).....	41
CONCLUSÃO	46
AGRADECIMENTOS	47
REFERENCIAS	48
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
REFERENCIAS	58

1. INTRODUÇÃO

Em 2050, estima-se que a população mundial alcançará mais de 9 bilhões de pessoas (BÉNÉ et al., 2015), e considerando que a demanda de alimentos será maior, se torna imprescindível para a segurança e soberania alimentar de cada país, produzir mais alimentos, com mais qualidade e menor impacto ambiental possível nas mesmas áreas (SADRAS et al., 2015).

A cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) possui grande importância, pois é o segundo cereal mais consumido no mundo (Singh et al., 2016), respondendo por 21% das calorias ingeridas per capita mundial (AWIKA, 2011). Neste cenário, o Brasil é o maior produtor de arroz fora do continente asiático, contando com uma produção de 8,1 milhões de toneladas (USDA, 2019), e área produtiva de 1,7 milhões de hectares, sendo o estado do Rio Grande Sul responsável por mais de 70% da produção nacional de arroz irrigado (IRGA, 2018).

Plantas bem nutridas de arroz são um dos principais fatores que influenciam a produtividade da cultura (SINGH et al., 2015), permitindo que as plantas cresçam e produzam grãos de qualidade, visando maior porcentagem de grãos inteiros, ricos nutritivamente e com características aceitáveis de comercialização (MUKAMUHIRWA et al., 2018), somado ao fato que plantas adequadamente nutridas apresentam menor suscetibilidade ao acometimento de doenças e estresses abióticos (PANHWAR et al., 2019). Entretanto, adubações minerais se realizadas de forma empírica e/ou desequilibradas, podem ser responsáveis pela elevação dos custos de produção e por contaminações ambientais (STONE; HORNBERGER, 2016).

Na literatura há vários estudos de calibração de nutrientes que visam relacionar a dose de determinado nutriente aplicado no solo com o aumento da produtividade (ANDERSON et al., 2013; TITTONELL et al., 2007; VAN KEULEN, 1982; VIEIRA et al., 2015). Entretanto, esses estudos utilizam a avaliação univariada para determinar o nível crítico e as faixas de suficiência dos elementos sem considerar que ao modificar a dose aplicada, modifica-se a absorção dos demais gerando um efeito cascata na calibração do balanço nutricional de nutrientes na planta. Além dos métodos univariados, existe métodos bivariados de diagnose de estado nutricional (DRIS) que relacionam o

teor dos elementos presentes na folha dois a dois, minimizando o problema da relação entre os nutrientes, mas não resolvendo de forma efetiva o balanço nutricional (ROZANE et al., 2015), pois plantas de arroz não absorvem apenas dois nutrientes por vez (FAGERIA, 2001), mas sim, simultaneamente, através das raízes que possuem diversos transportadores, de acordo com a demanda da planta e a disponibilidade no meio (DA CRUZ et al., 2019).

A proposição de Parent e Dafir (1992) com o emprego do método CND (diagnose da composição nutricional) baseia-se nas inter-relações entre os teores de nutrientes com relações multivariadas para a interpretação da análise de tecido vegetal. Assim, o CND pode ser considerado a evolução dos métodos de diagnose de tecido vegetal, e através dele, pode-se expressar o melhor estado nutricional da cultura, e com isso gerar informações que podem auxiliar no manejo e nas recomendações de adubação, maximizando a produção, reduzindo os custos de produção e os riscos de contaminação ambiental, havendo assim maior eficiência no uso de recursos e maior produtividade (ROZANE et al., 2015).

O método CND já foi aplicado com sucesso em outras culturas anuais como o trigo (GUSTIAN et al., 2018), o milho (GOTT et al., 2017), a beterraba (BARŁÓG et al., 2017) e o tomate (NOWAKI et al., 2017), e se mostra extremamente promissor inclusive para culturas arbóreas, tais como tangerina (LABAIED et al., 2018), maçã (XU et al., 2015) e manga (PARENT et al., 2013).

Portanto, considerando que o arroz possui grande importância para a alimentação humana e que seu cultivo pode ser aprimorado pela utilização do CND, buscou-se determinar o estado nutricional da cultura do arroz, através do método de diagnose da composição nutricional multivariado (CND) no estado do Rio Grande do Sul.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar o diagnóstico nutricional através do método CND para o estado nutricional de plantas de arroz no estado do Rio Grande do Sul.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Analisar a concentração de nutrientes na folha com base no método CND em regiões orizícolas do Rio Grande do Sul;

b) Analisar a concentração de nutrientes no solo e relacionar com os nutrientes presentes na folha;

c) Avaliar a composição nutricional das cultivares produzidas no estado com base na análise de componentes principais;

d) Atualizar o *software* “CND-arroz irrigado” para a versão 2.0, a partir dos resultados obtidos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A CULTURA DO ARROZ IRRIGADO

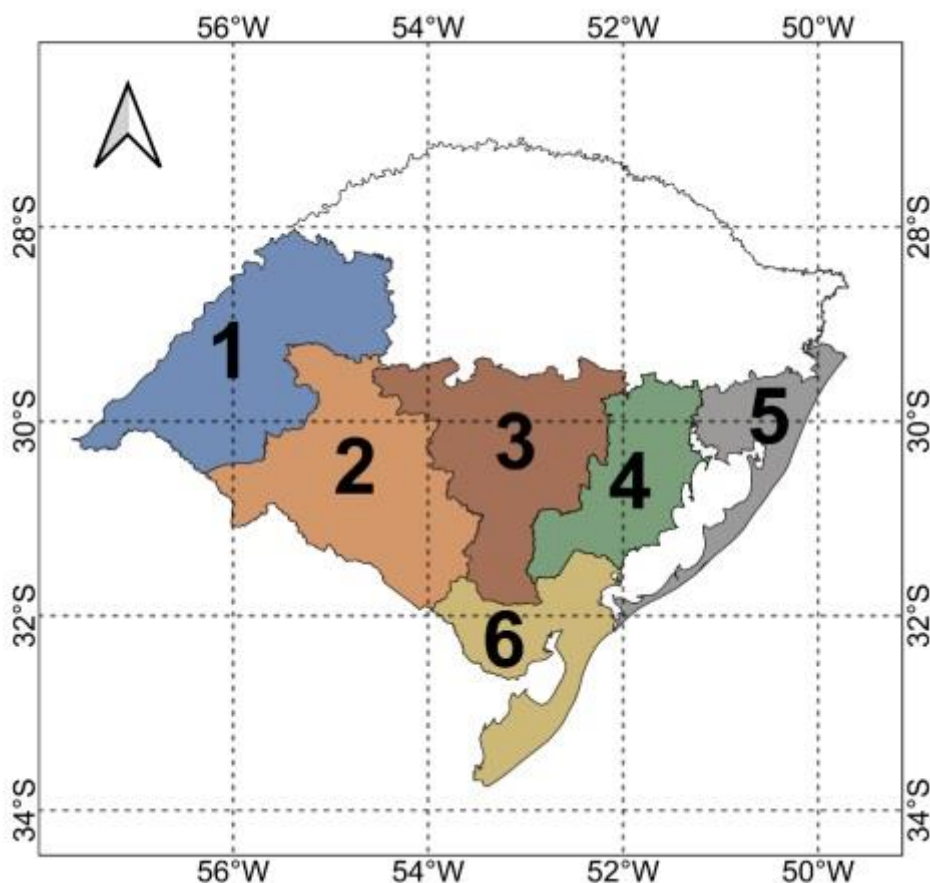
A cultura do arroz (*Oryza Sativa L.*) foi nomeada por Linnaeus (1753), sendo descrita por um crescimento anual (LI et al., 2006) com metabolismo C3 (SCHMITT et al., 1981), pertencente à família das poaceas (DUISTERMAAT, 1987). O gênero *Oryza* possui duas grandes subespécies, o japonico caracterizado por genótipos de grãos curtos e redondos, com pelos densos e longos na lema e pálea, sem ou com a arista longa. Já o índico é diferenciado pelos seus grãos longos e finos, com pelos curtos na lema e pálea, que raramente apresenta ou não a arista (CHANG; BARDENAS, 1965).

O arroz é o segundo cereal mais produzido no mundo, com área cultivada de mais de 167 milhões de hectares e produção de 769 milhões de toneladas de grãos. O maior produtor é continente asiático, e representa mais de 90 % da produção mundial. Já o Brasil ocupa a nona posição mundial (FAOSTAT, 2020). O país possui área cultivada de mais de 1,7 milhões de hectares entre arroz de sequeiro e irrigado, com produção de mais de 10,4 milhões de toneladas na safra 2018/2019. No entanto, a maior parte da produção nacional está concentrada no sul do país (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná) no sistema irrigado, representando mais de 82 % de tudo que se produz (CONAB, 2021).

O Rio Grande do Sul representa 70% da produção nacional, com área cultivada de 946 mil de hectares, localizados nos solos de terras baixas (Figura 1), e com média produtividade das últimas 5 safras de 7,6 t ha⁻¹ (MEUS et al., 2020). O estado é referência na produção de arroz irrigado, pois devido a práticas de manejo e novas tecnologias, foi possível o incremento de produtividade ao longo dos anos. Isto pode ser observado a partir da safra 2002/2003, no qual as produtividades saíram de 5,3 t ha⁻¹ para 7,5 t ha⁻¹, através da adoção de práticas de manejo realizadas pelos produtores participantes do “Projeto 10”, desenvolvido pelo Instituto Riograndense do Arroz (IRGA) (IRGA, 2019). Já a principal tecnologia desenvolvida a partir dos anos 2000, foi o sistema *Clearfield*®, que se baseou na combinação de sementes geneticamente selecionadas de cultivares resistente a alguns

princípios ativos de herbicidas, facilitando o manejo de plantas daninhas, como por exemplo o arroz vermelho (MENEZES et al., 2012).

Figura 1. Metade do sul do Rio Grande do Sul e sua subdivisão nas regiões orizícolas estabelecidas pelo IRGA: Fronteira Oeste (1), Campanha (2), Região Central (3), Planície Costeira Interna (4), Planície Costeira Externa (5) e Zona Sul (6).



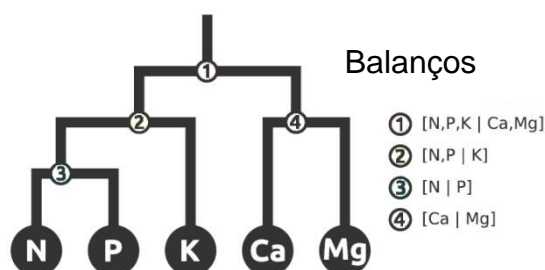
Atualmente os custos de produção na cultura do arroz no estado do Rio Grande do Sul estão subindo ao longo dos anos. Isso está muito atribuído a baixa rentabilidade da cultura pelos baixos preços pagos pela saca e também pelo alto custo do sistema produtivo, que chega a mais de 5,5 mil reais/ha (IRGA, 2018), principalmente pela mão de obra, combustível, energia elétrica e também os fertilizantes. O custo pelas adubações de base e cobertura, representam cerca de 10 % do custo total de produção, em torno de 222 dólares/ha (CONAB, 2021).

3.2 AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL

Para cada cultura existe padrões nutricionais específicos de referência, e através da experimentação são considerados adequados para obtenção de produtividades economicamente viáveis. No entanto, mesmo os nutrientes possuindo inter-relações, é presumido que para cada elemento existe um referencial diagnosticado como adequado, acreditando ser ideal (BRUNETTO et al., 2020).

Entretanto, estes padrões de referência encontrados em experimentos de calibração, não levam em consideração as inter-relações entre os nutrientes, por isso na literatura foram criticados (MARSCHNER, 1995; PARENT, 2011). Desta maneira, a máxima produtividade depende do equilíbrio entre os nutrientes na planta, caracterizado por proporções (relações) bem definidas entre esses elementos, como exemplificado na Figura 2. Assim, nem sempre estabelecer o teor absoluto do nutriente é suficiente para alcançar altos rendimentos. Em muitos casos, a deficiência relativa, ou seja, a proporcionalidade entre os vários elementos, desempenham um papel mais importante. Na realidade, cabe destacar que cada fator de produção atua melhor, quando os demais fatores estão próximos de seu ideal (BANGROO et al., 2010).

Figura 2. Pontos de equilíbrio de balanços hierárquicos que representam uma sub composição nutricional.



Fonte: (PARENT et al., 2013a).

O estado nutricional adequado depende de vários fatores, como as características de cada espécie, local e condições ambientais. Mesmo se

tratando da mesma cultura e condições edafoclimáticas, para avaliação do estado nutricional, pode ocorrer variações dentro de uma cultivar/variedade (ROZANE et al., 2015). Por isso é importante estabelecer normas de equilíbrio nutricional para cada espécie e manejo em relação as condições ambientais, visto que, pode haver padrões nutricionais similares entre os genótipos. Desta forma, teores considerados como adequados podem ser adotados por outras cultivares com teores nutricionais e exigências semelhantes.

Buscando a máxima eficiência na utilização de nutrientes e resposta em ganhos de produtividade é necessário que seja realizado o balanço adequado de nutrientes nas plantas, definido por suas inter-relações. No entanto, determinar um teor como único para dado nutriente, pressupondo como suficiente, não garante que se obtenha a mais alta produção. Deste modo, o que resulta em melhor eficiência e produtividade é o equilíbrio entre os fatores de produção, que, quanto mais próximo dos teores ideais acrescentará ganhos no rendimento e qualidade dos grãos.

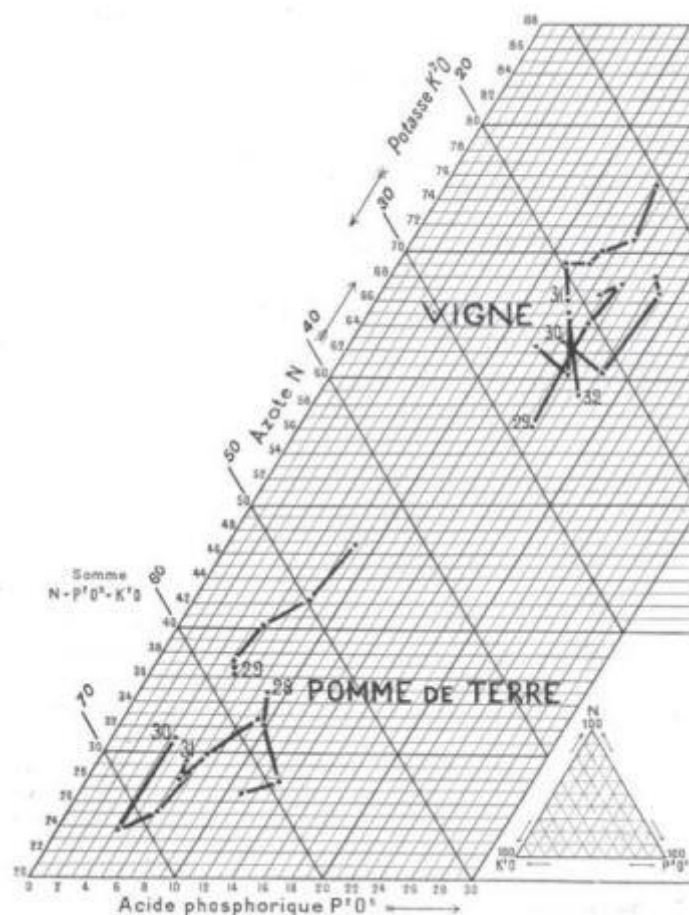
Uma ferramenta atual, amplamente trabalhada na agricultura e a mais utilizada para culturas anuais é a análise de solo, a qual quantifica os teores através de parâmetros e relaciona-os para determinar a fertilização mineral ou orgânica (CQFS-RS/SC, 2016). Já, a análise foliar é uma ferramenta complementar a análise de solo, que pode ser explorada com melhor cuidado, conforme relatado na literatura para soja e melancia, por exemplo (IZAGUIRRE-MAYORAL; SINCLAIR, 2005; YETISIR et al., 2013). As recomendações nutricionais se baseiam na quantidade de elementos extraídos do solo e a concentração que está presente no tecido vegetal, e assim, pode auxiliar na melhor acurácia de programas de fertilizações.

3.3 EVOLUÇÃO DOS MÉTODOS DE ESTADO NUTRICIONAL DE PLANTAS

A avaliação do estado nutricional teve marco no início do século 20, pelos pesquisadores Lagatu e Maume (1934 a, b), em Montpellier, na França. Na carência de informações pela composição química das plantas, houve a necessidade de se diagnosticar o real estado nutricional. Assim os pesquisadores realizaram experimentos com a cultura da uva e batata,

avaliando a concentração dos nutrientes N, P e K, e suas inter-relações entre ambos (Figura 3).

Figura 3. Diagrama que indica a quantidade de fertilizantes ($N+P_2O_5+K_2O$) a ser aplicado em função do tempo e do equilíbrio destes nas folhas, em batata (*Pomme de terre*) e videira (*Vigne*).



Fonte: (LAGATU; MAUME, 1934 a,b).

Neste gráfico os autores apresentam coordenadas triangulares (cada lado do triângulo representa um nutriente), onde o ponto de cruzamento indica o equilíbrio das concentrações de N, P e K na fisiologia das plantas, em que a soma dos três nutrientes resulta em uma porcentagem de 100%.

Desta forma, as análises químicas de tecido vegetal se tornam ferramentas importantes para avaliação do estado nutricional de plantas. Dentre estes, os mais utilizados são os univariados, como nível crítico (NC) e a faixa de suficiência (FS); os bivariados, como o sistema integrado de diagnose

e recomendação (DRIS); e o multivariado, como a diagnose da composição nutricional (CND).

3.4 NIVEL CRITICO

O nível crítico (NC) foi estudado por Ulrich e Hills (1967), descrito como a zona de deficiência, onde as plantas não absorvem determinado nutriente. Assim, a partir deste valor, a planta consegue responder ao fornecimento do nutriente, passando pelos estádios de crescimento e desenvolvimento, resultando no aumento de sua biomassa e produção.

Através das informações obtidas por Ulrich e Hills (1967), foi possível identificar e evitar aplicações super ou subestimadas de fertilizantes nas culturas. Assim, a fim de ter maior eficiência nas adubações, experimentos que visam maior rentabilidade, devem ser instalados. No entanto, estudos desta magnitude são raros, especialmente porque possuem custo elevado e exigem grande mão de obra (NATALE et al., 2011).

3.5 FAIXA DE SUFICIÊNCIA

A faixa de suficiência é determinada como a relação dos teores dos nutrientes e a produtividade. Com isso, quando ocorre deficiência de algum nutriente no solo, resultará em estresses na planta e conseqüentemente sintomas em algumas das partições. Assim, as folhas se tornam ótimas formas de avaliação, pois geralmente apresentam sintomas, caracterizados pela ausência de nutrientes. O que diferencia o método da faixa de suficiência do NC, é que a mesma estabelece intervalos nos teores foliares dos nutrientes (MEUS et al., 2020).

Estes intervalos são tradicionalmente encontrados através de experimentos de calibração, no qual as condições são controladas para que não haja interferência de outros fatores (BHARGAVA; CHADHA, 1988). Entretanto, estes valores dificilmente serão semelhantes a condições de campo, pois possuem diversos fatores interagindo simultaneamente durante o período de cultivo. Por isso, as pesquisas devem estar dirigidas nas condições de lavouras de produtores, para melhor representar a realidade. Através destas

avaliações, há a possibilidade de utilizar métodos como o DRIS e CND, para gerar valores de referência adequados nos teores nutricionais.

3.6 SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNOSE E RECOMENDAÇÃO (DRIS – *Diagnosis and Recommendation Integrated System*)

O método DRIS foi proposto por Beaufils (1973), o qual relaciona as combinações binárias (método bivariado) entre os nutrientes, supondo que expressa uma adequada avaliação do equilíbrio nutricional. Com isso, as normas DRIS representam melhor as condições de campo em relação aos experimentos de curva de calibração.

Com a utilização da metodologia DRIS é possível identificar a ordem de limitação entre os nutrientes (BATAGLIA et al., 1996). Desta forma, se consegue diagnosticar os nutrientes que estão em excesso, bem como a deficiência, através de índices de cada nutriente. Então, nutrientes que recebem índices positivos, indicam excesso, e índices negativos, indicam deficiências. E quanto mais próximo de zero, significa que está próximo do equilíbrio nutricional.

Este método possui algumas vantagens entre os métodos univariados NC e FS, visto que a interpretação das análises dos tecidos vegetais, leva em consideração a relação entre os nutrientes, portanto atribuindo as inter-relações nutricionais. Com isso, para melhor precisão do método, quanto maior o número de elementos analisados, resultará em ganhos na avaliação (HOLLAND, 1966). No entanto, como as plantas não absorvem os nutrientes de forma univariada ou bivariada, torna-se necessário as avaliações com métodos multivariados, como o CND.

3.7 CND (*Compositional Nutrient Diagnosis*)

A metodologia de análise multivariada foi proposta por Holland (1966), com o intuito de melhorar a interpretação da composição das folhas, em comparação com os métodos anteriores, como o DRIS, NC e FC. Posteriormente foi aprimorada por Parent e Dafir (1992), na Universidade Laval

– Canadá, que determinaram a nomenclatura conhecida atualmente por CND (*Compositional Nutrients Diagnosis; Diagnose Da Composição Nutricional*).

Este método já foi aplicado para diversas culturas no mundo, dentre elas o trigo (GUSTIAN et al., 2018), o milho (GOTT et al., 2017) e também beterraba (BARŁÓG; GRZEBISZ; BŁASZYK, 2017), mostrando-se promissor inclusive para culturas arbóreas, tais como tangerina (LABAIED et al., 2018), maçã (XU et al., 2015) e manga (ALI, 2018).

O estabelecimento de parâmetros numéricos básicos (expressão de valores relativos) para o estado nutricional de plantas, é fundamental para avaliar com melhor precisão o real equilíbrio do tecido vegetal, segundo Parent e Dafir (1992). O CND é um dos métodos mais recentes para interpretação da análise dos tecidos vegetais, o qual se baseia entre o teor de um nutriente e a média geométrica dos teores dos demais componentes da matéria seca, ou seja, uma relação multivariável, sendo considerado a forma mais confiável da expressão do equilíbrio do tecido vegetal (PAWLOWSKY-GLAHN, 2005).

Uma das principais vantagens de empregar o método CND para as culturas agrícolas, é a possibilidade de se observar as carências e excessos, ou atribuir índices de desbalanços nutricionais, além de excluir *outliers* através da distância da Mahalanobis, oferecendo maior segurança ao banco de dados (PARENT et al., 2009). Com isso, é possível identificar a contribuição de cada nutriente na composição da matéria seca.

4. ARTIGO - DIAGNÓSTICO DO ESTADO NUTRICIONAL DE CULTIVARES DE ARROZ IRRIGADO PELO MÉTODO CND NO SUL DO BRASIL

(Será submetido para a revista *Agronomy Journal*)

DIAGNOSIS OF THE NUTRITIONAL STATUS OF IRRIGATED RICE CULTIVARS BY THE CND METHOD IN SOUTHERN BRAZIL

Vladison Fogliato Pereira⁽¹⁾, Betania Vahl de Paula⁽²⁾, Danilo Eduardo Rozane⁽³⁾, Álvaro Luís Pasquetti Berghetti⁽²⁾, Lincon Oliveira Stefanello⁽²⁾, Nereu Augusto Streck⁽¹⁾, Gustavo Brunetto⁽²⁾ e Alencar Junior Zanon⁽¹⁾

⁽¹⁾Agricultural Engineering Department of Federal University of Santa Maria (UFSM), 97105-900, Santa Maria, RS, Brazil

⁽²⁾Soil Science Department of Federal University of Santa Maria (UFSM), 97105-900, Santa Maria, RS, Brazil

⁽³⁾Fruticulture Department of Paulista State University (UNESP), 11900-000, Registro, SP, Brazil

ABSTRACT

The Composition Nutritional Diagnosis (CND) can contribute to the generation of index to identify nutrient deficiencies or excesses in irrigated rice, as well as define sufficiency ranges (SR) and critical levels (CL). Through information of this nature, it can help the decision-making of the need to apply nutrients that will impact the economic and social sustainability of production. The objective was to estimate the nutritional balance for modern irrigated rice cultivars in a subtropical environment using the CND-r² method. In the main rice growing regions of southern Brazil, 50 flag leaves were collected in 96 irrigated rice fields. The total concentrations of N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn and B in the leaves were determined. During harvest, grain yield was quantified and, in the laboratory, the milling yield of each field was determined. Using the CND-r² method, norms, critical levels and sufficiency ranges were established for N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Cu, Mn and B. From the CND-r² indices, we verified that the concentrations of S, Fe, P, Ca and Mg were in deficit and in excess for B, K, Mn, Cu and Zn. B and K were the main causes of nutritional imbalance. Principal component analysis differentiated cultivars by similar nutritional standards. Thus, the use of the CND method was efficient in verifying the nutritional imbalance for irrigated rice, and the effect on grain yield and quality for the regions of southern Brazil.

Keywords: *Oryza sativa* L., foliar diagnosis, multivariate nutrient compositional analysis, principal component analysis.

DIAGNÓSTICO DO ESTADO NUTRICIONAL DE CULTIVARES DE ARROZ IRRIGADO PELO MÉTODO CND NO SUL DO BRASIL

RESUMO

A Diagnose da Composição Nutricional (CND) pode contribuir na geração de índices para identificar carências ou excessos de nutrientes na cultura do arroz irrigado, bem como, definir faixas de suficiência (FS) e níveis críticos (NC). Através de informações dessa natureza, podem auxiliar a tomada de decisão da necessidade de aplicação de nutrientes que impactarão na sustentabilidade econômica e social da produção. O objetivo foi estimar o balanço nutricional para as cultivares modernas de arroz irrigado em ambiente subtropical pelo método CND-r² nas principais regiões orizícolas do Sul do Brasil. Foram coletadas 50 folhas bandeiras em cada uma das 96 lavouras de arroz irrigado. Após, determinou-se as concentrações totais de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B. Durante a colheita foi quantificada a produtividade e em laboratório foi mensurado o rendimento de engenho de cada lavoura. Utilizando o método CND-r² foram estabelecidas normas, níveis críticos e faixas de suficiência para N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Cu, Mn e B. A partir dos índices CND-r² verificamos que as concentrações de S, Fe, P, Ca e Mg estavam em deficit e em excesso para B, K, Mn, Cu e Zn. O B e K foram os maiores causadores de desbalanço nutricional positivo, e negativo para S. A análise de componentes principais diferenciou as cultivares por padrões nutricionais semelhantes. Assim, a utilização do método CND foi eficiente em verificar o desbalanço nutricional na cultura do arroz irrigado, e o efeito sobre a produtividade e qualidade de grãos para cada região do Sul do Brasil.

Palavras-chave: *Oryza sativa*, diagnose foliar, análise multivariada composicional de nutrientes, análise de componentes principais.

INTRODUÇÃO

O arroz é o segundo cereal mais consumido e o terceiro mais produzido no mundo, sendo responsável por 21% das calorias ingeridas *per capita* pelo ser humano (ZHAO et al., 2020). Depois do continente Asiático, o Brasil é o maior produtor mundial de arroz (FAO, 2020). O país produziu cerca de 10 milhões de toneladas de arroz em 2020 em aproximadamente 1,7 milhões de hectares cultivados (CONAB, 2020). O estado do Rio Grande do Sul (RS), localizado no extremo Sul do Brasil, é responsável por mais de 70% da produção nacional de arroz irrigado com média de produtividade de 7,7 t ha⁻¹ (IRGA, 2020a). Visando obter altas produtividades, são utilizadas suplementações minerais ou orgânicas, realizadas a partir de adubações, pois, em solos cultivados com o arroz irrigado no Brasil e, em outros países do mundo, normalmente não possuem quantidades suficientes de nutrientes para suprir as demandas das plantas.

Geralmente a tomada de decisão sobre necessidades ou quantidade de nutrientes a serem aplicadas em culturas agrícolas, são definidas com base nos resultados da análise de solo ou folhas (SOUZA et al., 2016). Mas também, em alguns casos, considerando outras variáveis, como a expectativa de produção, levando em consideração as quantidades de nutrientes exportadas pelos grãos (CQFS-RS/SC, 2016).

A geração de valores de referência, como níveis críticos ou faixas de suficiência, para a cultura do arroz irrigado, pode contribuir para o aumento na eficiência do uso de recursos, uma vez que, auxiliará os técnicos e produtores na tomada de decisão sobre a necessidade de realizar a adubação (BRUNETTO et al., 2020; GOTT et al., 2017). Essa abordagem é de suma importância pois os fertilizantes representam em torno de 10% do custo total de produção na cultura do arroz irrigado no RS (IRGA, 2020b). Por isso, o uso racional de fertilizantes é imprescindível para uma agricultura sustentável, do ponto de vista ambiental, pois o excesso de elementos em solos favorece a contaminação do ambiente, podendo impactar negativamente sobre a qualidade da água (LI et al., 2018; SHI et al., 2020); e do ponto de vista econômico, através da maior rentabilidade do produtor rural.

Dessa forma, faz-se necessário conhecer a eficiência de utilização de insumos pela cultura de interesse. Para isso, a amostragem de folhas em lavouras cultivadas com o arroz irrigado é uma ferramenta utilizada para determinar com segurança os teores foliares. Os valores obtidos permitem aplicar métodos que relacionem parâmetros de crescimento e/ou desenvolvimento das plantas com a produtividade. Entre esses, existem os métodos univariados, os quais visam a obtenção de níveis críticos ou faixas de suficiência de nutrientes (ANDERSON et al., 2013; VIEIRA et al., 2015). Porém, tais métodos não consideram as interações entre os elementos, bem como seus efeitos na composição nutricional da planta (HERNANDES et al., 2012). A fim de atenuar o efeito das interações, surge como alternativa o método da Diagnose da Composição Nutricional (CND) (PARENT; DAFIR, 1992), que se baseia em relações multinutrientes. Este método relaciona os constituintes da matéria seca com a produtividade e gera índices do estado nutricional das plantas (POLITI et al., 2013).

O método CND já foi aplicado com sucesso na estimativa de índices de desequilíbrio nutricional em muitas culturas anuais, como trigo (KAMAL et al., 2018), beterraba (BARŁÓG et al., 2017), tomate (NOWAKI et al., 2017), e também arroz irrigado (WADT et al., 2013). Entretanto, para este último, os índices foram gerados para cultivares que não são mais semeadas pelos produtores, devido a inserção de cultivares com maior potencial de produtividade e qualidade de grãos no mercado. Desta forma, é necessário amostrar a variabilidade genética existente nas principais cultivares de arroz irrigado das tradicionais regiões produtoras de arroz do Sul do Brasil, bem como, compreender como a produtividade é afetada pelo equilíbrio nutricional do arroz. O objetivo foi estimar a composição nutricional de cultivares modernas de arroz irrigado em um ambiente subtropical a partir do método CND.

MATERIAIS E MÉTODOS

LOCALIZAÇÃO DAS LAVOURAS DE ARROZ IRRIGADO

O estudo foi realizado em 26 municípios tradicionais de regiões produtoras de arroz irrigado na América do Sul, localizadas no Estado do Rio Grande do Sul (RS), região Sul do Brasil, somando ao todo 96 lavouras comerciais (Figura 1 e Tabela 1). O clima é classificado como *The regional climate is humid subtropical (Cfa)*, com verões quentes e sem estação seca definida (ALVARES et al., 2013).

Tabela 1. Descrição das 96 lavouras comerciais amostradas, na safra 2019/2020, em 26 localidades no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Local	Coordenadas	Cultivar	Tipo de solo	Faixa de Produtividade (t ha ⁻¹)	n
Aceguá	-31° 52' 1.14" -54° 09' 5.58"	INOV CL	Vertissolo	10,5	1
Agudo	-29° 38' 43" -53° 14' 24"	IRGA (424 RI e 431 CL)	Planossolo	9 a 12,2	7
Alegrete	-29° 47' 5" -55° 46' 33"	BRS PAMPEIRA e IRGA 424 RI	Chernossolo	10,2 e 12,2	7
Barra do Quaraí	-30° 12' 26" -57° 33' 17"	IRGA 424 RI	Chernossolo	9,6	1
Cacequi	-29° 52' 48" -54° 49' 48"	EPAGRI 121	Argissolo	9,5	1
Cachoeira do Sul	-30° 02' 20" -52° 53' 38"	IRGA (426 e 424 RI)	Argissolo	9 a 9,8	3
Camaquã	-30° 51' 04" -51° 48' 44"	IRGA 424 RI	Planossolo	9,5 a 9,9	2
Capivari do Sul	-30° 9' 0" -50° 30' 36"	BRS PAMPEIRA	Planossolo	8,8	1
Cristal	-30°59'59" -52°02'54"	IRGA 424 RI	Planossolo	9,2	1
Dona Francisca	- 29° 37' 11" - 53° 21 '44"	IRGA 424 RI	Planossolo	8,1 a 10,4	2
Faxinal do Soturno	- 29° 34' 12" - 53° 26' 27"	IRGA 424 RI e GURI INTA CL	Planossolo	8 a 11,7	12
Formigueiro	- 30° 0' 32" - 53° 29' 54"	GURI INTA CL	Planossolo	10	1
Ibirubá	- 28° 37' 40" - 53° 05' 24"	IRGA 424 RI	Argissolo	6,5	1

Itaqui	-29° 7' 48" -56° 33' 0"	IRGA (424 RI e 431 CL) e GURI INTA CL	Chernossolo	7 a 10,5	7
Mata	- 29° 33' 57" - 54° 27' 36"	PUITÁ INTA CL e IRGA 424 RI	Argissolo	4,8 a 6,9	2
Nova Esperança do Sul	- 29° 24' 36" - 54° 49' 44"	BRS PAMPEIRA	Argissolo	8,5 a 9,3	2
Paraíso do sul	- 29° 39' 50" - 53° 8' 54"	IRGA 424 RI e GURI INTA CL	Planossolo	4 a 8,5	5
Restinga Seca	- 28° 13' 13" - 54° 20' 20"	IRGA (424 RI e 431 CL), BRS A701 e PUITÁ INTA CL	Planossolo	5 a 11,5	5
Rio Grande	- 32° 1' 60" - 52° 5' 55"	IRGA 424 RI	Gleissolo	11,3	1
Rosário do Sul	-30° 14' 24" -54° 55' 12"	IRGA 424 RI	Argissolo	8	1
Santa Maria	-29° 41' 24" -53° 48' 0"	IRGA (424 RI e 431 CL), BR/IRGA 409 e GURI INTA CL	Planossolo	7,5 a 10,8	11
São Francisco de Assis	- 29° 33' 01" - 55° 07' 52"	IRGA 424 RI	Argissolo	8,1	1
São João do Polesine	-29° 36' 36" -53° 27' 0"	IRGA (424 RI e 431 CL)	Planossolo	7,1 a 8,6	2
São Sepé	- 30° 10' 14" - 53° 34' 49"	GURI INTA CL	Argissolo	10	1
São Vicente do Sul	- 29° 41' 31" - 54° 40' 44"	IRGA (424 RI, 431 CL), BRS PAMPEIRA	Planossolo	7,5 a 10,8	4
Uruguaiana	-29° 45' 0" -57° 5' 24"	IRGA (424 RI, 431 CL, BRS PAMPEIRA e GURI INTA CL	Chernossolo	8 a 11,9	14

n = número de lavouras amostradas. Classificação do solo segundo a SiBCS (2006).

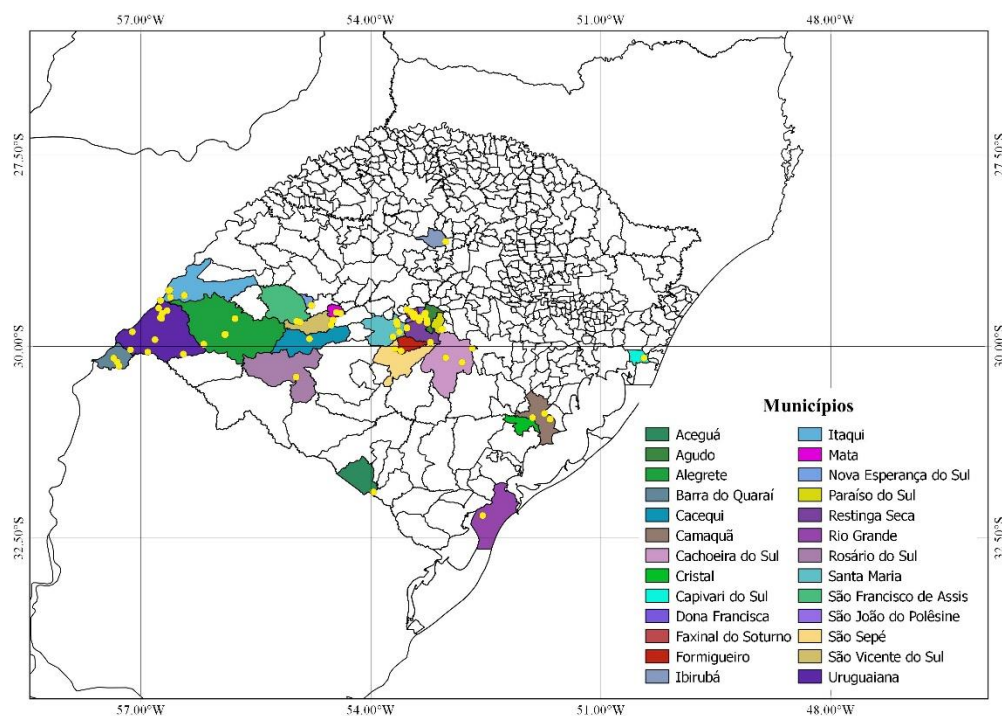


Figura 4. Localização das áreas experimentais de arroz irrigado em diferentes municípios do Estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil, América do Sul.

CRITÉRIO DE SELEÇÃO DAS ÁREAS AMOSTRADAS

Para decisão da escolha das áreas foram estabelecidos critérios, tais como, lavouras com até 30 ha, divididas em talhões de produtividades, considerados como de alta (acima de 10 t ha^{-1}), média (8 t ha^{-1}) e baixa (abaixo de 7 t ha^{-1}).

COLETA DE FOLHAS E DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS

Durante a safra 2019/2020, em 96 lavouras comerciais, foram coletadas folhas bandeira de plantas de arroz em sistema de cultivo irrigado, conforme procedimento recomendado pela Comissão de Química e Fertilidade do Solos dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2016). Esta comissão estabelece a coleta de 50 folhas bandeira, as quais representam o órgão diagnóstico, em pontos aleatórios e representativos da lavoura, durante o estágio R2, pela escala de Counce et al (2000).

Após a coleta, as folhas foram secas em estufa de circulação de ar forçado a 65°C até massa constante e, posteriormente, foram moídas em moinho do tipo-Willey com peneira de crivo de 2 mm. Depois de moídas, as

amostras foram submetidas a digestão sulfúrica para determinação de N total (TEDESCO et al., 1995). O N total foi destilado em destilador de arraste a vapor micro-Kjeldahl (Tecnal, TE-0363, Brazil), e titulado com H_2SO_4 0,025 Mol L^{-1} , conforme metodologia proposta por Tedesco et al. (1995). A partir da digestão nitroperclórica foram determinados P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn. O P foi quantificado em espectrofotômetro UV-visível à 662 nm (FEMTO, 600 plus, Brazil), conforme Murphy e Riley (1962). O K foi quantificado em espectrofotômetro de chama (TEDESCO et al., 1995). As concentrações de Ca, Mg, Zn, Fe, Cu e Mn foram quantificadas através de espectrofotometria de absorção atômica (Perkin-Elmer, AAnalyst 200, Estados Unidos) (TEDESCO et al., 1995). O B foi extraído em mufla a 600° C, durante de 3 horas (EMBRAPA, 1997) e sua quantificação ocorreu através do espectrofotômetro UV-Vis a 435 nm (FEMTO, 600 plus, Brazil).

DETERMINAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS

A colheita dos grãos de arroz nas áreas amostradas foi realizada utilizando máquinas colhedoras, quando as plantas estavam no estágio R9 pela escala de Counce et al. (2000). A umidade dos grãos a campo variou de 13 a 23% e, por isso, a produtividade foi padronizada a 13% de umidade.

COLETA E DETERMINAÇÃO DE ANÁLISES DE SOLO

Após a colheita, foram coletadas amostras de solo, de cada lavoura analisada, seguindo as orientações do manual do CQFS-RS/SC, 2016, que sugere a coleta de 20 sub amostras do mesmo talhão, formando uma amostra representativa, em uma profundidade de 0 a 20 cm. Após, foram enviadas ao laboratório de análise de solos da Universidade Federal de Santa Maria para sua quantificação.

CÁLCULOS DO MÉTODO CND

A análise CND, proposta por Parent e Dafir (1992) considera todos os nutrientes analisados, gerando variáveis multinutrientes, cada qual ponderada

pela média geométrica da composição nutricional (EGOZCUE; PAWLOWSKY-GLAHN, 2005; PARENT; DAFIR, 1992). Neste método, o tecido foliar é considerado um sistema fechado a 100%, formado por componentes determinados (nutrientes) e por componentes não quantificados, que são reunidos num termo denominado "R". Isso forma um arranjo D-dimensional, que é um *simplex* (Sd), derivado das proporções de D+1, nutrientes que incluem os elementos D e um valor residual (R) (BÉLANGER et al., 2001; PARENT et al., 1993). A carência e o excesso de nutrientes possuem o mesmo peso no desequilíbrio nutricional, podendo ser detectados através da distância de Mahalanobis (DM) (PARENT et al., 2009). A representação da abordagem CND-clr, para os dados computacionais e as equações, é apresentada por Parent et al (1993).

$$Clr_j = \frac{x_j}{g(x)} \quad \text{(Equação 1)}$$

g(x)

em que: x_j é o componente j no numerador, $j = [1...D]$ e $g(x)$ é a média geométrica de todos os componentes.

$$g = (A \times B \times \dots \times n \times R)^{1/n} \quad \text{(Equação 2)}$$

em que: g é a média geométrica das concentrações dos nutrientes da matéria seca, adaptado por Khiari et al (2001).

O componente R é obtido segundo a equação a seguir:

$$R = 1.000.000 - (A + B + \dots + n) \quad \text{(Equação 3)}$$

em que: 1.000.000 é o total de mg kg^{-1} ; deste valor é subtraída a somatória dos nutrientes em mg .

A DM (distância de Mahalanobis) é calculada usando a matriz de covariância (COV) (Parent et al., 2009), a partir da média das transformações CND-clr:

$$DM = \sqrt{(clr_j - clr_j^*) TCOV^{-1} (clr_j - clr_j^*)} \quad \text{(Equação 4)}$$

em que: Clr_j é a amostra a ser comparada; clr_j^* é a média aritmética da população de referência e COV é a matriz de covariância da população de referência. Para evitar a singularidade, é excluído o componente R.

A divisão das populações e a identificação da população de referência foi realizada como indicado por Khiari et al. (2001), empregando a função de variância cumulativa, segundo os valores da DM. A segunda derivada (ponto de inflexão) é usada para separar as subpopulações de baixa e alta produtividade.

Quanto a ordem de limitação, em princípio são obtidos os índices CND-clr (I), os quais são calculados pela diferença entre as variáveis multinutrientes, no talhão avaliado ($clri$) e a média da população de referência ($clri^*$), dividido pelo desvio-padrão da população de referência (Si^*).

$$Iclri = \frac{clri - clri^*}{Si^*} \quad (\text{Equação 5})$$

em que: $Iclri$ é o índice CND-clr do nutriente i da amostra n ; $clri^*$ é a média da transformação CND-clr da população de alta produtividade (população de referência) para o nutriente i e, Si^* , é o desvio-padrão da população de referência para o nutriente i .

O CND- r^2 , que representa o índice de desequilíbrio nutricional global da amostra, é correlacionado com a DM para comprovar que quanto mais equilibrada está a amostra, ou seja, mais próxima de zero, menor deverá ser a DM. Deste modo, a amostra equilibrada tende a se manter com a menor distância da média e, assim, no centro do centroide de n (nutrientes + R) dimensões, calculada como segue:

$$CND-r^2 = I_2 N + I_2 P + I_2 K + \dots + I_2 R \quad (\text{Equação 6})$$

DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados meteorológicos (médias de temperatura máxima, temperatura mínima e radiação solar incidente) foram obtidos a partir das estações automatizadas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) por município. O período avaliado foi de 20 de setembro de 2019 a 31 de março de 2020, o que correspondeu ao período de semeadura até a colheita dos grãos.

ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando os efeitos foram significativos, foi realizado teste Tukey a 0,05% de significância. Em complementação a análise de variância, foi realizada uma análise de componentes principais (PCA), utilizando o software CANOCO versão 4.5 (BRAAK; SMILAUER, 2002). As variáveis utilizadas foram dados meteorológicos sendo eles soma da temperatura máxima, soma da temperatura mínima e soma da radiação solar incidente durante o ciclo, as análises de solo, os teores de nutrientes, os índices CND-r² para os nutrientes analisados, a qualidade de grãos (rendimento de engenho) e produtividade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As produtividades analisadas no conjunto de dados variaram de 13,5 t ha⁻¹ a 4 t ha⁻¹, com média de 9,3 t ha⁻¹; sendo superior à média dos últimos 5 anos no estado do RS, que foi de 7,6 t ha⁻¹ (IRGA, 2021), região responsável por um quarto da superfície cultivada da América Latina com a cultura do arroz (FAOSTAT, 2018).

Tabela 2. Normas da diagnose da composição nutricional (CND) em arroz irrigado da população de referência.

Normas CND-r ²	----- Macronutrientes -----					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Média	3,37	1,08	1,47	1,36	0,57	1,70
Desvio padrão	0,19	0,13	0,17	0,39	0,18	0,44
	----- Micronutrientes -----					

Normas CND-r ²	Zn	Fe	Mn	Cu	B
Média	-3,87	-1,07	-0,80	-5,66	-5,33
Desvio padrão	0,21	0,41	0,50	0,48	0,13

N= Nitrogênio; P= Fósforo; K= Potássio; Ca= Cálcio; Mg= Magnésio; S Zn= Zinco; Fe= Ferro; Mn= Manganês; Cu= Cobre; B= Boro;

Das 96 lavouras em estudo, 29 *outliers* foram excluídos do banco de dados através da distância de Mahalanobis como método de eliminação (PARENT et al., 2009). A distribuição gaussiana (n=67) foi testada antes do uso do banco de dados, sendo observada normalidade ($p= 0.05$), aceitando-se a hipótese nula, ou seja, os dados possuem distribuição normal. Após a realização dos cálculos dos índices CND-r² para todos os nutrientes, foram estabelecidas normas (Tabela 2) e equações de regressão (Tabela 3), comparando os teores dos nutrientes com os índices estabelecidos.

O ponto de inflexão indicado pela função cumulativa foi avaliado por Khiari et al., 2001 e delimita que as produtividades acima de 10 t ha⁻¹ são classificadas como da população de alta produtividade (n= 24) e, abaixo de 10 t ha⁻¹, como de baixa produtividade (n= 43).

EQUAÇÕES DE REGREÇÃO

Tabela 3. Modelos matemáticos das relações entre os teores dos nutrientes em folhas e os índices CND-r² avaliados na cultura do arroz irrigado.

Nutriente	Equações	R ²
N	$-0,0000000093(N)^2 + 0,0006390902(N) - 9,0734510995$	0,64
P	$0,0023(P) - 4,7448$	0,41
K	$0,0015(K) - 5,2425$	0,72
Ca	$2,417\ln(Ca) - 19,14$	0,92
Mg	$-0,0000007507(Mg)^2 + 0,0052401687(Mg) - 5,4470642903$	0,68
S	$2,845\ln(S) - 23,726$	0,96
Zn	$-0,0051(Zn)^2 + 0,4115(Zn) - 5,4905$	0,75
Fe	$2,0819\ln(Fe) - 11,485$	0,94

Mn	1,9828ln(Mn) - 11,439	0,95
Cu	2,0136ln(Cu) - 2,4149	0,97
B	16,181ln(B) - 20,342	0,28

N= Nitrogênio; P= Fósforo; K= Potássio; Ca= Cálcio; Mg= Magnésio; S Zn= Zinco; Fe= Ferro; Mn= Manganês; Cu= Cobre; B= Boro;

As equações de regressão geradas pelo CND-r² foram comparadas com o estudo realizado por Pereira et al. (2019), que empregou o método multivariado CND para a cultura do arroz irrigado, no entanto, inserindo um número menor de nutrientes, resultando em equações de regressão dos nutrientes: N (R²= 0.30), P (R²= 0.58), K (R²= 0.56), Ca (R²= 0.92), Mg (R²= 0.43), Zn (R²= 0.95), Fe (R²= 0.93) e B (R²= 0.95). A partir disso, podemos observar que os ajustes das equações obtidos pelo método CND foram superiores para os nutrientes N (R²= 0.60), K (R²= 0.72), Mg (R²= 0.68) e Fe (R²= 0.94). Já os elementos P (R²= 0.41), Zn (R²= 0.75) e B (R²= 0.28) obtiveram desempenho inferior, com excessão para o nutriente Ca, que obteve o mesmo R² de 0.92. Com isso, podemos inferir que o balanço nutricional é influenciado pelo número de nutrientes inseridos nas equações do método CND, pois são atribuídos pesos diferentes entre os nutrientes no tecido foliar, fazendo com que haja influência de cada elemento presente na análise multivariada (FIRN et al., 2019).

FAIXAS DE SUFICIÊNCIA

Os macronutrientes P, N, Mg e K apresentaram as menores correlações com os índices CND-r², diferentemente dos macronutrientes S e Ca, que obtiveram alta relação com os índices (Tabela 4). Uma das razões para isso, é que os nutrientes N, P, K e Mg possuem alta mobilidade nos processos de transporte e redistribuição nas plantas, já o Ca possui baixa mobilidade (TAIZ et al., 2017). Por outro lado, o Ca é um elemento requerido pelas cultivares modernas de arroz em quantidades moderadas, devido seu elevado potencial produtivo (CRUSCIOL et al., 2016). O S é fundamental para processos metabólicos nas plantas de arroz, como na produção de aminoácidos, transferência de elétrons e redução de estresses oxidativos (LOUND et al., 2008). Sua alta correlação com os índices CND-r² são causadas principalmente

pela deficiência deste nutriente no solo; sendo sua maior parte proveniente da MOS, que devido ao uso intensivo destas áreas acaba sendo degradada rapidamente, e desta forma, fornecendo uma menor disponibilidade de S as plantas, resultando na redução da variabilidade nos tecidos foliares.

Tabela 4. Níveis críticos (NC) e faixas de suficiência (FS) de nutrientes, calculados a partir do CND-r², em relações as FS propostas pela Sociedade Sul-Brasileira em Arroz Irrigado (SOSBAI, 2018) e Pereira et al, 2019.

NUTRIENTES	EQUAÇÃO	R ²	NC 2020	----- g kg ⁻¹ -----		
				FS CND 2020	FS SOSBAI 2018	FS CND 2019
N	$-0,0000000093(N)^2 + 0,0006390902(N) - 9,0734510995$	0,64	20,0	17,8 – 22,3	23 – 28,5	19,4 – 22,5
P	$0,0023(P) - 4,7448$	0,41	2,1	1,9 – 2,3	1,7 – 2,5	1,3 – 1,6
K	$0,0015(K) - 5,2425$	0,72	3,5	3,1 – 3,9	9 – 14	2 – 2,4
Ca	$2,417\ln(Ca) - 19,14$	0,92	2,7	2 – 3,5	2,2 – 3,6	2,1 – 3,7
Mg	$-0,0000007507(Mg)^2 + 0,0052401687(Mg) - 5,4470642903$	0,68	1,3	1,1 – 1,4	1,2 – 1,9	1,3 – 1,5
S	$2,845\ln(S) - 23,726$	0,96	4,2	2,8 – 5,6	1,4 – 2	-
				----- mg kg ⁻¹ -----		
Zn	$-0,0051(Zn)^2 + 0,4115(Zn) - 5,4905$	0,75	16,9	14,5 – 19,4	15 – 28	12 - 22
Fe	$2,0819\ln(Fe) - 11,485$	0,94	308,4	219,1 – 397,6	70 - 220	236 - 376
Mn	$1,9828\ln(Mn) - 11,439$	0,95	320,3	190,3 – 450,2	450 – 650	197- 546
Cu	$2,0136\ln(Cu) - 2,4149$	0,97	3,3	2,3 – 4,4	3,7 – 6,3	-
B	$16,181\ln(B) - 20,342$	0,28	3,5	3,4 – 3,6	6 - 11	5 - 3

Os micronutrientes Zn, Fe, Mn e B mostraram altas correlações com o índice CND- r^2 da população de referência. Isto acontece, principalmente, porque a concentração no tecido foliar dos micronutrientes é menor em relação a dos macronutrientes (KIRKBY, 2012). Além disso, esses elementos são imprescindíveis em vários processos metabólicos das plantas. Fe e Mn estão envolvidos na síntese da clorofila e no processo fotossintético, e Zn na estabilização do DNA e na expressão gênica (BASHIR et al., 2019). O B, por sua vez, atua na formação da parede celular, na translocação de açúcares e nos processos de reprodução do arroz, como por exemplo, formação do tubo polínico (SHAHID et al., 2018). No entanto, quando ocorrem excessos de micronutrientes podem haver prejuízos na formação de organelas celulares, mas também, sintomas de toxidez as plantas (KOBAYASHI et al., 2014).

As faixas de suficiência (FS) calculadas a partir do CND- r^2 para N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e B, foram mais estreitas que as propostas pela Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado (SOSBAI), definidas através de avaliação bivariada do método DRIS (Tabela 4) (SOSBAI, 2018). No entanto, em relação ao CND 2019, as FS foram mais estreitas para os nutrientes Zn, Mn e B, e iguais para o Ca. Em contra partida, para os nutrientes N, P, K, Mg e Fe, as faixas foram mais amplas, o que pode ser explicado pelo número de lavouras analisadas, causando maior variabilidade na concentração dos teores nutricionais pelas diferenças de condições edafoclimáticas.

Assim, a informação gerada pelo método CND confere ao técnico uma maior precisão na indicação da verdadeira faixa adequada de suficiência nutricional. Aliado a isso, os níveis críticos (NC) foram propostos para cada nutriente, indicando probabilidade nula de resposta do arroz ao incremento de nutriente na planta acima destes valores.

ÍNDICES DE DESBALANÇO

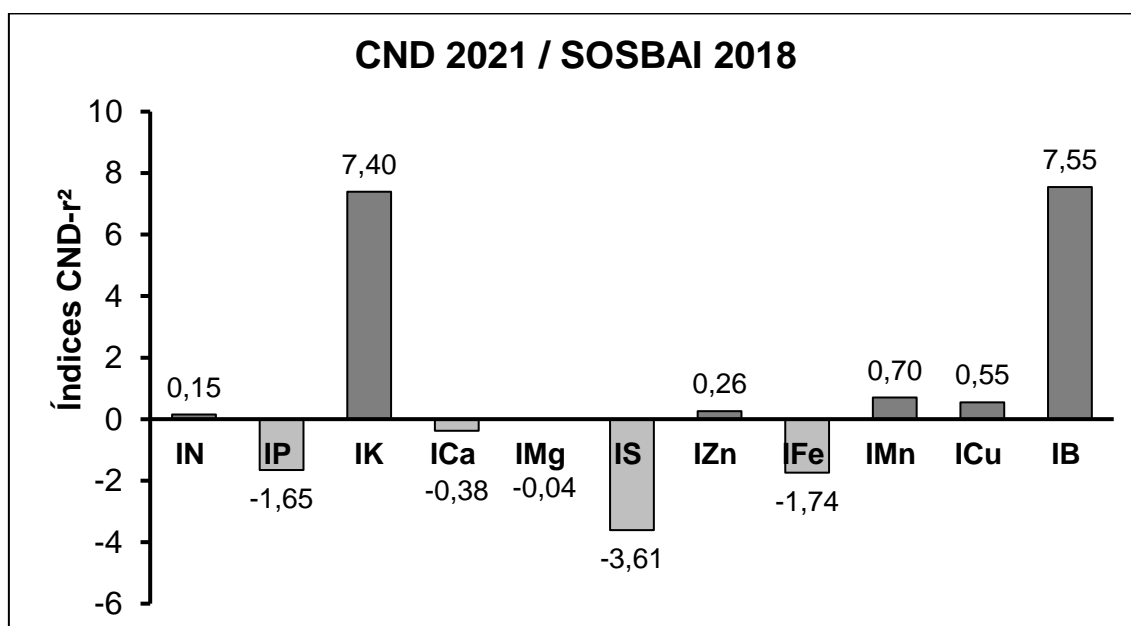


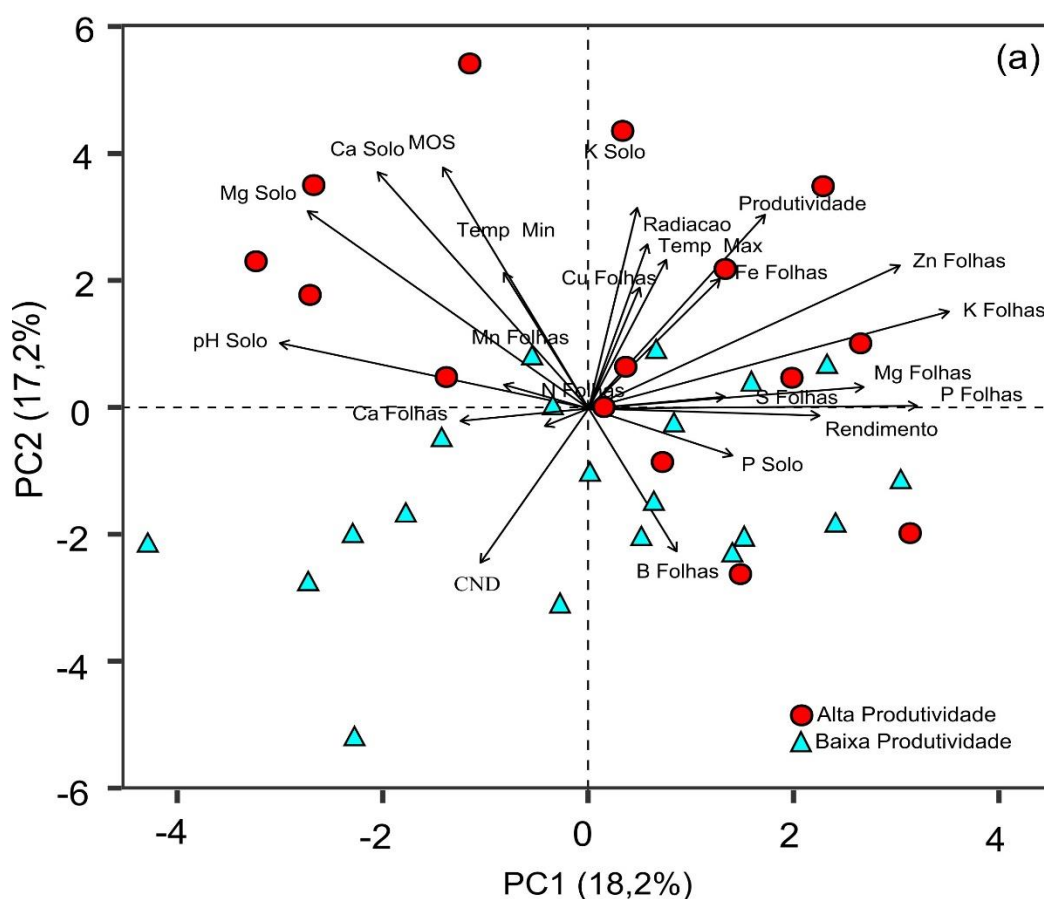
Figura 5. Ordem de limitação dos nutrientes, a partir das recomendações da Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado (SOSBAI, 2018), segundo a metodologia CND-r² na cultura do arroz irrigado. Índice positivo (acima do zero) e negativo (abaixo do zero) representam excesso e deficiência, respectivamente.

As FS-SOSBAI foram comparadas com os índices propostos pelo CND-r² (Figura 2). Os índices CND-r² indicaram que os teores de B, K, Mn, Cu, Zn e N, em ordem decrescente, foram superestimados. Por outro lado, os teores de S, Fe, P, Ca e Mg foram subestimados (Figura 3). Esses resultados mostram que o atual sistema de interpretação da análise foliar para o arroz irrigado (SOSBAI, 2018) promove desbalanço nutricional, principalmente em relação ao B e K, que apresentaram o maior excesso nutricional, quando comparado aos demais nutrientes. Trabalhos apontam que teores de B considerados adequados ficam na faixa de 3 mg Kg⁻¹ na folha bandeira (LORDKAEW et al. 2013, REHMAN et al. 2018); diferentemente dos valores de referência apontados no SOSBAI, 2018, que indicam em média 6 mg Kg⁻¹, fazendo com que haja uma recomendação super estimada. Já o K é um dos elementos mais exportado via grãos, sendo que muitas vezes a planta não consegue ser

seletiva em sua absorção e, por isso, absorve e acumula quantidades acima da necessidade, caracterizando consumo de luxo (BRUNETTO et al., 2005).

O elemento que apresentou maior desbalanço negativo foi o S. Relacionado com os efeitos combinados do aumento do rendimento das variedades e sua extração pelo cultivo de arroz em terras baixas, onde este nutriente é normalmente lixiviado para camadas mais profundas de solo e também pela diminuição da sua deposição atmosférica, contribuindo para a incidência de sua deficiência (RESURRECCION et al., 2001).

RELAÇÕES DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL (CND), VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS, ZONAS DE PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE GRÃOS, ATRAVÉS ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA)



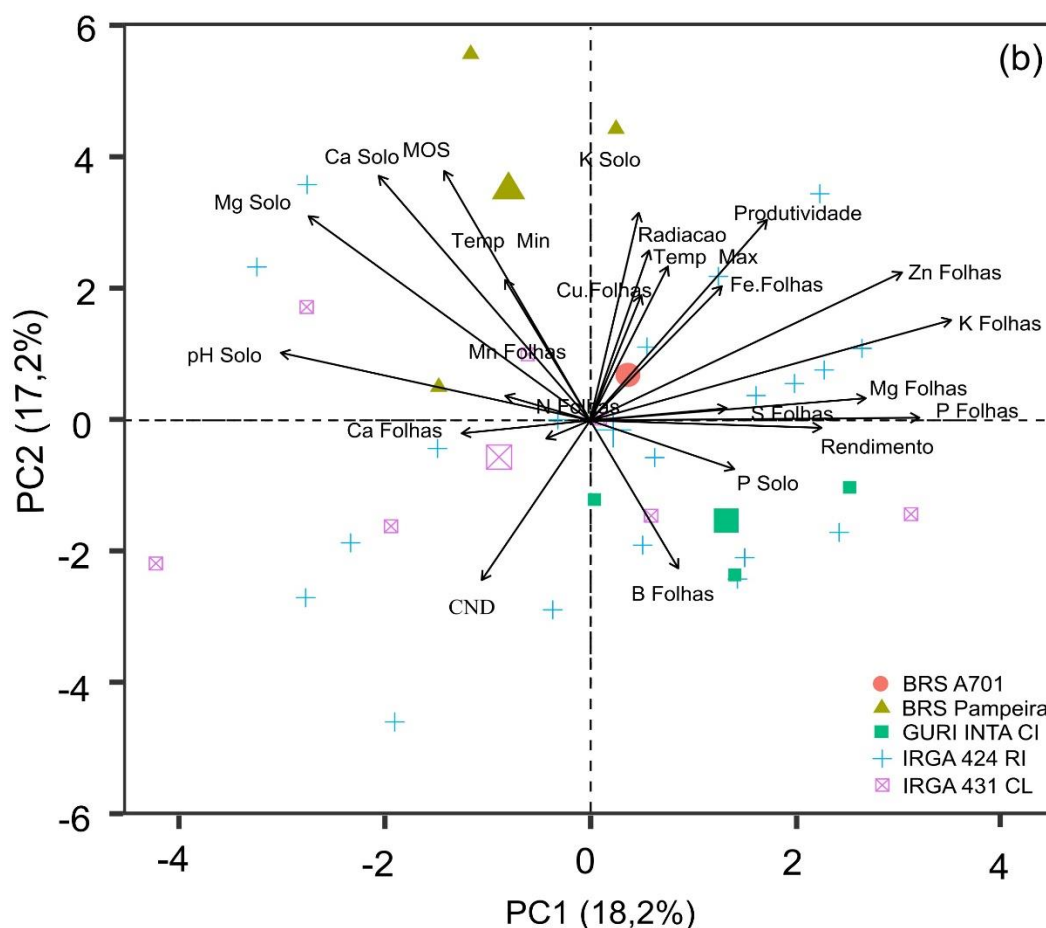


Figura 6. (A) Relação entre o componente principal 1 (PC1) e componente principal 2 (PC2) dos parâmetros de alta e baixa produtividade. (B) Relação entre o componente principal 1 (PC1) e componente principal 2 (PC2) dos parâmetros produtividade, teores nutricionais de solo e tecido foliar, qualidade de grãos, dados meteorológicos e índices CND- r^2 para a cultura do arroz irrigado em diferentes regiões produtoras do RS.

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada extraindo-se dois grupos, o componente principal 1 (PC1) e o componente principal 2 (PC2). O somatório de ambos mostrou cerca de 35,4% da variabilidade original dos dados, devido a coleta ter sido realizada em lavouras comerciais, houve variabilidade no conjunto de dados (Figura 3). O PC1 explicou 18,2% da variabilidade, e teve maior influência da MO no solo, PH do solo, Ca e Mg no solo, temperatura mínima, teores foliares de N, Ca, Mn e índices CND- r^2 . Já o PC2 explicou 17,2% da variabilidade dos dados, no qual obteve maior influência nas variáveis P e K no solo, teores foliares de P, K, Mg, S, Zn, Fe,

Cu, B, temperatura máxima e radiação solar, além da produtividade e rendimento de engenho.

Na (Figura 3(a)) pode-se observar as relações do comportamento nutricional de lavouras de alta (Figura 3 (a) - Círculos na cor vermelha) e de baixa produtividade (Figura 3 (a) - Triângulos na cor verde). A zona de baixa produtividade teve relação com P no solo, CND, B folhas, Ca folhas e rendimento de engenho. Sabe-se que os elementos Ca e B constituem a formação da parede celular, onde os íons Ca^{2+} auxiliam na manutenção de sua integridade devido ao seu papel nas ligações B-diéster na camada de pectato (MATHO; KOBAYASHI, 1998). O P atua diretamente na produção de ATP no metabolismo, e seu suprimento é facilitado pela ação do sistema de produção por inundação (YE et al., 2019). Devido à combinação destes nutrientes, Ca, B e P, os índices CND- r^2 se aproximaram do rendimento de engenho, visto que são a média geométrica de cada nutriente no tecido vegetal, sendo seu resultado caracterizado pelo balanço adequado. Assim, a atuação equilibrada destas variáveis nos sugere que há ação direta no rendimento de engenho.

A zona de alta produtividade (Figura 3 (a)) teve maior correlação com as variáveis PH no solo, Mg no solo, MOS, K no solo, Cu nas folhas, Fe nas folhas, Zn nas folhas, K nas folhas, Mg nas folhas, N nas folhas, temperatura mínima, temperatura máxima, radiação solar incidente e produtividade. Com isso, pode se destacar que os elementos (pH, MOS, K e Mg no solo) na dinâmica de absorção pelas raízes, são complementares. Pois o pH do solo estando acima de 5,5, aumenta a disponibilidade de K e Mg as plantas (FAGERIA et al., 2011). Já a MOS, possui papel importante na disponibilidade de nutrientes, como o N, elemento fundamental no aumento da produtividade (CASSMAN et al., 1996; SAHRAWAT, 2009). Os elementos presentes nas folhas e constituintes da fotossíntese (Cu, Fe, Zn, K, Mg e N), estão associados com as variáveis de temperatura (máxima e mínima) e a radiação solar incidente, pois a oferta ótima destas variáveis faz com que potencialize a fotossíntese líquida, ou seja, explorando a maior capacidade fotossintética das plantas e resultando em altas produtividades.

Os resultados mostram que foi possível distinguir 5 grupos de genótipos com comportamento nutricionais distintos, os quais são representados pelas cultivares de arroz BRS A701, BRS PAMPEIRA, GURI INTA CL, IRGA 424 RI e

IRGA 431 CL, caracterizados pelas figuras geométricas e nas cores (Figura 3 (b)). Essa distinção entre genótipos demonstrada pela PCA, vai em concordância com a premissa de Rozane et al. (2015), os quais propõem que os teores de referências de nutrientes em culturas devem ser calculados de forma específica à cada genótipo, região ou tipo de manejo. Desta forma, percebe-se que a cultivar IRGA 424 RI possui uma maior amplitude em relação às variáveis: solo, folhas, meteorológicas e rendimento de engenho. Já a cultivar IRGA 431 CL possui correlações positivas com o pH e P no solo, e também com os nutrientes N, Ca, Mn e B no tecido foliar. Por outro lado, a cultivar GURI INTA CL apresentou relações positivas com maior proximidade com os nutrientes P no solo e B nas folhas. A cultivar BRS PAMPEIRA mostrou comportamento inverso à cultivar GURI INTA CL, evidenciando correlações positivas com os elementos K, Ca e MOS no solo; Mn no tecido foliar; e com as variáveis meteorológicas: temperatura mínima e radiação solar incidente. Por fim, a cultivar BRS A701 demonstrou comportamento equilibrado, possuindo a menor variação nutricional quando comparado com as demais cultivares. Assim, pode-se obter uma primeira aproximação do comportamento nutricional das cultivares analisadas. Rozane et al., (2016) avaliaram cultivares de manga e também apontam padrões nutricionais distintos para cada cultivar analisada. Assim, entender o comportamento nutricional de cada genótipo faz com que se obtenha maior precisão nas recomendações agronômicas e sustentabilidade das adubações minerais.

Os nutrientes Fe, Zn, Cu, K, Mg, S e P nos tecidos foliares obtiveram relação positiva com a produtividade e rendimento de engenho. A produtividade esteve intimamente ligada aos micronutrientes catiônicos Fe, Zn e Cu. Estes, responsáveis principalmente pelas atividades bioquímicas de enzimas no metabolismo vegetal, e possuem relação direta na produção da molécula de clorofila (MARSCHNER, 1995). Desta forma, havendo um desequilíbrio nutricional de Fe, Zn e Cu, faz com que ocorram sintomas, como por exemplo, a ausência de teores adequados de Cu, faz com que o Fe se acumule nos nós das plantas (DAS S, 2014). Por outro lado, o Zn pode ser prejudicado por diversos fatores, mas principalmente pelo alto pH do solo, alta matéria orgânica e solos intensamente cultivados (PES et al., 2015). No entanto, em solos tradicionais da produção de arroz irrigado, ocorre saturação de água no solo,

acarretando na redução do potencial redox, e assim influenciando na disponibilidade destes nutrientes no solo (ATIQUE-UR-REHMAN et al., 2018). Desta maneira, os dados apontam que para haver uma produtividade satisfatória deve-se observar os teores de Cu, Zn e Fe.

O rendimento de engenho esteve associado positivamente com os nutrientes K, Mg, S, P e B no tecido foliar. P e K são elementos altamente requeridos pelas plantas de arroz, sendo necessários cerca de 3 kg de P e 21 kg de K para cada tonelada de grãos, e o aporte adequado destes nutrientes resulta em uma melhor qualidade de grãos (MEUS et al., 2020; ROSE et al., 2010; ZHANG et al., 2013). Já o Mg é constituinte da molécula de clorofila e, também, de várias enzimas ativadoras da fotossíntese; portanto, está relacionado diretamente com a taxa fotossintética, repercutindo na melhor alocação destes fotoassimilados nos grãos (LI et al., 2020). Para o S, um estudo foi realizado por Suwanarit et al. (1997), que relataram que após uma aplicação moderada de S a um solo deficiente deste nutriente, resultou no aumento de padrões de qualidade dos grãos de arroz. E o B, atua na translocação de açúcares e também nos processos de reprodutivos (PANDEY et al., 2008).

A produtividade esteve correlacionada com as variáveis meteorológicas temperatura máxima, temperatura mínima e radiação solar incidente. Estudos já demonstraram o efeito de variáveis climáticas sobre a produtividade e o rendimento de engenho na cultura do arroz (PENG et al., 2004; WANG et al., 2015; WELCH et al., 2010). Bahuguna et al., 2017 avaliaram a temperatura mínima diária em relação à produtividade do arroz nas Filipinas e revelaram que em cultivares tolerantes a altas temperaturas houve acréscimo de 11% na produtividade. Já outro estudo mostra que a quantidade de radiação solar incidente e interceptada pelo dossel das plantas está intimamente relacionada à maiores produtividades (HUANG et al., 2016). Desta forma, práticas de manejo como a época de semeadura, fazem com que ocorra o melhor aproveitamento destas variáveis pelas plantas.

Os nutrientes K e P (Figura 3 (b)) no solo obtiveram relações positivas com a produtividade e rendimento de engenho. O P participa na formação das membranas celulares e em vários processos metabólicos, promovendo o crescimento e o metabolismo fisiológico do arroz (MAATHUIS, 2009;

PLAXTON; TRAN, 2011). O K atua como um ativador de várias enzimas, e está envolvido na regulação osmótica intracelular e no transporte de proteínas de membrana. Além disso, também desempenha um papel importante no transporte de carboidratos no arroz, mostrando-se benéfico para o metabolismo da planta e resistência ao estresse (WANG; WU, 2013; NIEVES-CORDONES et al., 2019). Portanto, estes nutrientes se tornam mais disponíveis a solução do solo, devido a inundação pelo sistema de produção, fazendo com que os óxidos de ferro sejam reduzidos de Fe^{3+} a Fe^{+2} e liberem o P adsorvido. E no caso do K, devido à redução de Fe^{+2} , ocorre o deslocamento do K da CTC do solo, para a solução do solo, principalmente pela ligação mais forte de Fe^{2+} na CTC do solo.

Estudos dessa natureza geram informações fundamentais ao entendimento do manejo de plantas de lavoura, como o arroz irrigado, a partir da análise de tecido vegetal por métodos multivariados, como o CND. Somado a isso, a adição de variáveis de solo e climatológicas multivariadas poderá colaborar numa melhor compreensão das relações existentes entre nutrição, produção e qualidade. Assim, pesquisadores, técnicos e produtores poderão utilizar os resultados desta ferramenta para futuras recomendações de arroz irrigado no sul do Brasil, possibilitando uma maior eficiência no uso de recursos, e por consequência, tornando o sistema produtivo mais sustentável.

CONCLUSÃO

Os índices CND r^2 foram eficientes no estabelecimento do estado nutricional do arroz irrigado, baseado nas concentrações de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B foliares.

A proposição de um balanço nutricional multinutriente é mais eficiente na detecção do desequilíbrio nutricional que os métodos univariados, podendo gerar respostas produtivas mais específicas.

A metodologia CND estabeleceu, para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B, níveis críticos e faixas de suficiência mais estreitas que a atual recomendação.

As cultivares de arroz estudadas apresentaram composições nutricionais distintas, em decorrência das condições de cultivo, clima e solo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelos recursos concedidos nos projetos número 17/2551-0000775-1 e 19/2551-0001648-4; e ao Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp) e todos os colaboradores que estiveram presentes neste trabalho.

REFERENCIAS

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., de Moraes Gonçalves, J.L., Sparovek, G., (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Zeitschrift* 22, 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

Anderson, G.C., Peverill, K.I., Brennan, R.F., (2013). Soil sulfur—crop response calibration relationships and criteria for field crops grown in Australia. *Crop Pasture Sci.* 64, 523. <https://doi.org/10.1071/CP13244>

Atique-ur-Rehman, Farooq, M., Rashid, A., Nadeem, F., Stuerz, S., Asch, F., Bell, R.W., Siddique, K.H.M., (2018). Boron nutrition of rice in different production systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0504-8>

Bahuguna, R.N., Solis, C.A., Shi, W., Jagadish, K.S. V, (2017). Post-flowering night respiration and altered sink activity account for high night temperature-induced grain yield and quality loss in rice (*Oryza sativa* L.). *Physiol. Plant.* 159, 59–73. <https://doi.org/10.1111/ppl.12485>

Barłóg, P., Grzebisz, W., Błaszyk, R., (2017). Compositional nutrient diagnosis in sugar beet with sodium supplementation. *Arch. Agron. Soil Sci.* 63, 856–869. <https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1240364>

Bashir, K., Seki, M., Nishizawa, N.K., (2019). The transport of essential micronutrients in rice. *Mol. Breed.* 39, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s11032-019-1077-1>

Bélanger, G., Walsh, J.R., Richards, J.E., Milburn, P.H., Ziadi, N., (2001). Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for potato in eastern Canada. *Am. J. Potato Res.* 78, 355–364. <https://doi.org/10.1007/BF02884344>

Braak, C.J.F. ter, Smilauer, P., (2002). CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5).

Brunetto, G., Colpo Gatiboni, L., Rheinheimer dos Santos, D., Saggin, A., Kaminski, J., (2005). Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um argissolo sob sistema plantio direto. *Rev. Bras. Ciência do Solo* 29, 565–571.

Brunetto, G., Ricachenevsky, F.K., Stefanello, L.O., de Paula, B.V., de Souza Kulmann, M.S., Tassinari, A., de Melo, G.W.B., Natale, W., Rozane, D.E., Ciotta, M.N., Brighenti, A.F., Comin, J.J., Lourenzi, C.R., Loss, A., Schmitt, D.E., Zalamena, J., De Conti, L., Tiecher, T.L., de Souza, A.L.K., de Bem, B.P., (2020). Diagnosis and management of nutrient constraints in grape. *Fruit Crop*. 693–710.

Cassman, K.G., Dobermann, A., Cruz, P.C.S. et al. (1996). Soil organic matter and the indigenous nitrogen supply of intensive irrigated rice systems in the tropics. *Plant Soil* 182, 267–278. <https://doi.org/10.1007/BF00029058>

CONAB, C.N. de A., (2020). Atlas Irrigação [WWW Document]. Mapeamento do Arroz Irrig. no Bras. URL <https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/outras-publicacoes>

Counce, P.A., Keisling, T.C., Mitchell, A.J., (2000). A Uniform, Objective, and Adaptive System for Expressing Rice Development. *Crop Sci.* 40, 436–443. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.402436x>

CQFS-RS/SC, (2016). Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, 11th ed. Pallotti, Porto Alegre.

Crusciol, C.A.C., Fernandes, A.M., Carmeis Filho, A.C. de A., Alvarez, R. de C.F., (2016). Macronutrient uptake and removal by upland rice cultivars with different plant architecture. *Rev. Bras. Cienc. do Solo* 40. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20150115>

Das S (2014) Role of Micronutrient in Rice Cultivation and Management Strategy in Organic Agriculture-A Reappraisal. *Agricultural Sciences* 5: 765-769.

Egozcue, J. J.; Pawlowsky-Glahn, V. (2005). Groups of parts and their balances in compositional data analysis. *Mathematical Geology*, New York, v. 37, p. 795-828.

EMBRAPA, (1997). Manual de métodos de análises de solo, 2nd ed. Ministério da Agricultura e Abastecimento, Rio de Janeiro.

EMBRAPA. (2006) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United, Nations, Statistics, Acesso em: 02 de dezembro de 2021

FAO, (2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations [WWW Document]. URL <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize> (accessed 9.25.20).

FAOSTAT, (2018). Food and Agriculture Organization of the United Nations [WWW Document]. URL <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (accessed 6.25.20).

Firn, J., McGree, J.M., Harvey, E. et al. (2019). Leaf nutrients, not specific leaf area, are consistent indicators of elevated nutrient inputs. *Nat Ecol Evol* 3, 400–406. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0790-1>

Gott, R.M., Aquino, L.A., Clemente, J.M., Santos, L.P.D. Dos, Carvalho, A.M.X., Xavier, F.O., (2017). Foliar Diagnosis Indexes for Corn by the Methods Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) and Nutritional Composition (CND). *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 48, 11–19. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1253714>

Hernandes, A., Parent, S.É., Natale, W., Parent, L.É., (2012). Equilíbrio nutricional de goiabeiras a partir da calagem e adubação. Rev. Bras. Frutic. 34, 1224–1234. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452012000400032>

Huang, M., Shan, S., Cao, F., Zou, Y., (2016). The solar radiation-related determinants of rice yield variation across a wide range of regions. NJAS - Wageningen J. Life Sci. 78, 123–128. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2016.05.004>

IRGA, 2020a. Boletim de resultados da lavoura - Safra 2019 / 2020, Condições meteorológicas e seus impactos sobre as lavouras de arroz irrigado e soja em rotação [WWW Document]. Bol. Result. DA LAVOURA – SAFRA 2019 / 2020. URL <https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202008/19144808-boletim-de-resultados-da-lavoura-safra-2019-2020-irga.pdf>

IRGA, 2020b. 25095949-custos-maio-2020-final.pdf [WWW Document]. Custo produção médio Ponder. Arroz Irrig. Rio Gd. do Sul 2019/2020. URL <https://irga-admin.rs.gov.br/upload/arquivos/202005/25095949-custos-maio-2020-final.pdf>

IRGA, 2021. Boletim De Resultados Da Lavoura De Arroz Safra 2020/2021. Irga 1–16.

Kamal, M.Z.U., Islama, M.D., Miah, M.Y., Alam, M.S., (2018). Yields gap evaluation of wheat grown in Piedmont plain and Floodplain soils of Bangladesh through compositional nutrient diagnosis (CND) norm. Int. J. Environ. Agric. Biotechnol. 3, 1598–1611. <https://doi.org/10.22161/ijeab/3.5.5>

Kanwar Lal Sahrawat, (2009), Nitrogen mineralization in lowland rice soils: The role of organic matter quantity and quality, Archives of Agronomy and Soil Science, v.56, p.337-353. <https://doi.org/10.1080/03650340903093158>

Khiari, L., Parent, L.-É., Tremblay, N., 2001. Selecting the High-Yield Subpopulation for Diagnosing Nutrient Imbalance in Crops. Agron. J. 93, 802. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.934802x>

Kirkby, E.A., (2012). Introduction, definition and classification of nutrients, in: Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Elsevier, San Diego. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00027-3>

Kobayashi, T., Nakanishi Itai, R., Nishizawa, N.K., (2014). Iron deficiency responses in rice roots. Rice 7, 27. <https://doi.org/10.1186/s12284-014-0027-0>

Li, W., Guo, S., Liu, H., Zhai, L., Wang, H., Lei, Q., (2018). Comprehensive environmental impacts of fertilizer application vary among different crops: Implications for the adjustment of agricultural structure aimed to reduce fertilizer use. Agric. Water Manag. 210, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.044>

Lunde C., Zygadlo A., Simonsen H T, Nielsen P L, Blennow A, Haldrup A., (2008). Sulfur starvation in rice: the effect on photosynthesis, carbohydrate metabolism, and oxidative stress protective pathways, *Physiologia Plantarum*, v.134, 508-521p. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01159.x>

Maathuis F.J. Maathuis (2009). Physiological functions of mineral macronutrients *Curr. Opin. Plant Biol.*, 12, pp. 250-258, 10.1016/j.pbi.2009.04.003

Marschner, H. (2012) Mineral nutrition of higher plants. San Diego: Academic Press,. 889p.

Match T, Kobayashi M (1998) Boron and calcium, essential inorganic constituents of pectic polysaccharides in higher plant cell walls. *J Plant Res* 111:179–190

Menezes, V. G et. al. Projeto 10: estratégias de manejo para aumento da produtividade e da sustentabilidade da lavoura de arroz irrigado no RS: avanços e novos desafios. Cachoeirinha: IRGA/Estação experimental do Arroz, 2012.

Meus, L.D., Silva, M.R. da, Ribas, G.G., Zanon, A.J., Rossato, I.G., Pereira, V.F., Pilecco, I.B., Ribeiro, B.S.M.R., Souza, P.M. de, Nascimento, M. de F. do, Poersch, A.H., Junior, A.J.D., Quintero, C.E., Garrido, G.C., Carmona, L. de C., Streck, N.A., (2020). *Ecofisiologia do arroz visando altas produtividades*, 1a. ed. Pallotti, Santa Maria.

Nieves-Cordones et al., M. Nieves-Cordones, R. Ródenas, A. Lara, V. Martínez, Rubio. (2019) The combination of K⁺ deficiency with other environmental stresses: what is the outcome? *Physiol. Plant.*, 165, pp. 264-276, [10.1111/ppl.12827](https://doi.org/10.1111/ppl.12827)

Nowaki, R.H.D., Parent, S.-É., Cecílio Filho, A.B., Rozane, D.E., Meneses, N.B., Silva, J.A. dos S. da, Natale, W., Parent, L.E., (2017). Phosphorus Over-Fertilization and Nutrient Misbalance of Irrigated Tomato Crops in Brazil. *Front. Plant Sci.* 8, 825. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00825>

Pandey DK, Pandey N (2008) Screening of wheat genotypes for their susceptibility to boron deficiency. *Res Environ Life Sci* 1:37–42

Parent, L.E., Dafir, M., (1992). A Theoretical Concept of Compositional Nutrient Diagnosis. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 117, 239–242. <https://doi.org/10.21273/JASHS.117.2.239>

Parent, L.E., Karam, A., Visser, S.A., 1993. Compositional Nutrient Diagnosis of the Greenhouse Tomato. *HortScience* 28, 1041–1042. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.28.10.1041>

Parent, L.E., Natale, W., Ziadi, N., (2009). Compositional nutrient diagnosis of corn using the Mahalanobis distance as nutrient imbalance index. *Can. J. Soil Sci.* 89, 383–390. <https://doi.org/10.4141/cjss08050>

Parent, S.E., Parent, L.E., Rozane, D.-E., Natale, W., (2013). Plant ionome diagnosis using sound balances: case study with mango (*Mangifera Indica*). *Front. Plant Sci.* 4, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00449>

Peng, S., Huang, J., Sheehy, J.E., Laza, R.C., Visperas, R.M., Zhong, X., Centeno, G.S., Khush, G.S., Cassman, K.G., (2004). Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 101, 9971–9975. <https://doi.org/10.1073/pnas.0403720101>

Pereira, V. F. et al, (2019). Manejo da adubação nitrogenada e diagnóstico da composição nutricional do arroz no sul do Brasil. *Revista Plantio Direto*, v.173, p.35-38.

Pes, L. F.; Arenhart, M. H. (2015) *Fisiologia vegetal*. Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Rede e-tec Brasi., 81 p. ISBN: 978-85-63573-90-2

Plaxton and Tran, W.C. Plaxton, H.T. (2011) Tran Metabolic adaptations of phosphate-starved plants *Plant Physiol.*,v. 156, pp. 1006-1015, [10.1104/pp.111.175281](https://doi.org/10.1104/pp.111.175281)

Politi, L.S., Flores, R.A., Silva, J.A.S. da, Wadt, P.G.S., Pinto, P.A. da C., Prado, R. de M., (2013). Estado nutricional de mangueiras determinado pelos métodos DRIS e CND. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 17, 11–18. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000100002>

Resurreccion AP, Makino A, Bennett J, Mae T (2001) Effects of sulfur nutrition on rice growth and photosynthesis. *Solo Sci Plant Nutr* 47: 611–620

Rose, T.J., Pariasca-Tanaka, J., Rose, M.T., Fukuta, Y., Wissuwa, M., (2010). Genotypic variation in grain phosphorus concentration, and opportunities to improve P-use efficiency in rice. *F. Crop. Res.* 119, 154–160.

Rozane, D.E., Mattos, D., Parent, S.-É., Natale, W., Parent, L.E., (2015). Meta-analysis in the Selection of Groups in Varieties of Citrus. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 46, 1948–1959. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1069307>

Shahid, M., Nayak, A.K., Tripathi, R., Katara, J.L., Bihari, P., (2018). Boron application improves yield of rice cultivars under high temperature stress during vegetative and reproductive stages. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1537-z>

Shi, X., Hu, K., Batchelor, W.D., Liang, H., Wu, Y., Wang, Q., Fu, J., Cui, X., Zhou, F., (2020). Exploring optimal nitrogen management strategies to mitigate nitrogen losses from paddy soil in the middle reaches of the Yangtze River. *Agric. Water Manag.* 228, 105877. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105877>

SOSBAI, (2018). Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil, 32nd ed. Pallotti, Farroupilha.

Souza, H.A., Parent, S.-É., Rozane, D.E., Amorim, D.A., Modesto, V.C., Natale, W., Parent, L.E., (2016). Guava Waste to Sustain Guava (*Psidium guajava*) Agroecosystem: Nutrient “Balance” Concepts. *Front. Plant Sci.* 7, 1252. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01252>

Suwanarit, A., Kreetapirom, S., Buranakarn, S., Suriyapromchai, P., VaranyAnond, W. and Tungtrakul, P. (1997). Effects of sulfur fertilizer on grain qualities of Khaw Dauk Mali-105 rice. *Kasetsart Journal of Natural Sciences*, 31: 305–316.

Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. max, Murphy, A., (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal Diversidade vegetal*, 6a. ed, Porto Alegre. Artmed editora LTDA, Porto Alegre.

Tedesco, M.J., Gianello, C., Bissani, C.A., Bohnen, H., (1995). *Análises de solo, plantas e outros materiais*, UFRGS. ed. Porto Alegre.

Tinghong Ye, Yuwei Li, Jianglin Zhang, Wenfeng Hou, Weifeng Zhou, Jianwei Lu, Yongzhong Xing, Xiaokun Li, (2019) Nitrogen, phosphorus, and potassium

fertilization affects the flowering time of rice (*Oryza sativa* L.), *Global Ecology and Conservation*, v.20, <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00753>.

Vieira, R.C.B., Fontoura, S.M.V., Bayer, C., Moraes, R.P., Carniel, E., (2015). Adubação Fosfatada para Alta Produtividade de Soja, Milho e Cereais de Inverno Cultivados em Rotação em Latossolos em Plantio Direto no Centro-Sul do Paraná. *Rev. Bras. Ciência do Solo* 39, 794–808. <https://doi.org/10.1590/01000683rbcscs20140463>

Wadt, P.G.S., Ibanor, A., Guindani, H.P., Lima, R.S.T. de, Puga, A.P., Silva, A.S. da, Mello, R.P.G. de, (2013). Padrões nutricionais para lavouras arrozeiras irrigadas por inundação pelos métodos do cnd e chance matemática. *Rev. Bras. Ciência do Solo* 37, 145–156.

Wang and Wu, Y. Wang, W.H. Wu, (2013). Potassium transport and signaling in higher plants *Annu. Rev. Plant Biol.*, v. 64, pp. 451-476, 10.1146/annurev-arplant-50312-120153

Wang, L., Deng, F., Ren, W.-J., (2015). Shading tolerance in rice is related to better light harvesting and use efficiency and grain filling rate during grain filling period. *F. Crop. Res.* 180, 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.05.010>

Welch, J.R., Vincent, J.R., Auffhammer, M., Moya, P.F., Dobermann, A., Dawe, D., (2010). Rice yields in tropical/subtropical Asia exhibit large but opposing sensitivities to minimum and maximum temperatures. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 107, 14562–14567. <https://doi.org/10.1073/pnas.1001222107>

Zhang, Y., Zhang, C., Yan, P., Chen, X., Yang, J., Zhang, F., Cui, Z., (2013). Potassium requirement in relation to grain yield and genotypic improvement of irrigated lowland rice in China. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 176, 400–406. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200206>

Zhao, M., Lin, Y., Chen, H., (2020). Improving nutritional quality of rice for human health. *Theor. Appl. Genet.* <https://doi.org/10.1007/s00122-019-03530-x>

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho procurou apresentar a evolução dos métodos de diagnóstico para avaliação do estado nutricional de plantas, com foco à cultura do arroz irrigado;

A base de dados foi suficiente para os resultados alcançados, no entanto, ainda para este cereal seria possível a exploração de novas informações com a ampliação dos dados;

A avaliação do Diagnóstico Nutricional pela metodologia multivariada é uma importante ferramenta no estabelecimento das faixas adequadas de nutrientes às plantas, quando oriundas de um sólido banco de dados, auxiliando novas e precisas informações para a tomada de decisão de agricultores, técnicos e extensionistas;

Com base na metodologia proposta, foi possível desenvolver um *software*, denominado “CND-Arroz Irrigado”. O *software* produzido é compatível com qualquer dispositivo conectado com a internet, que apresentem navegadores como o Google Chrome®, Mozilla Firefox®, Opera® e Safari®;

O *software* está registrado no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) com número: BR512021000566-0. Sua utilização é gratuita e realizada por meio de endereços eletrônicos institucionais como o de Universidades, a exemplo do que já existe para inúmeras culturas através do *link*: <http://www.registro.unesp.br/#!/sites/cnd/>;

A fim de definir novos estudos utilizando esta metodologia, principalmente para culturas anuais, deve-se desenvolver uma nova metodologia de coleta de tecidos, utilizando estágios de desenvolvimento durante a fase vegetativa das plantas, visando diagnosticar possíveis excessos ou deficiências nutricionais, e assim conseguir realizar uma intervenção na forma de adubação, durante o ciclo de cultivo.

REFERENCIAS

Anderson, G.C., Peverill, K.I., Brennan, R.F., (2013). Soil sulfur—crop response calibration relationships and criteria for field crops grown in Australia. *Crop Pasture Sci.* 64, 523. <https://doi.org/10.1071/CP13244>

Awika, J.M., (2011). Major Cereal Grains Production and Use around the World, in: ACS Symposium Series. pp. 1–13. <https://doi.org/10.1021/bk-2011-1089.ch001>

Barłóg, P., Grzebisz, W., Błaszyk, R., (2017). Compositional nutrient diagnosis in sugar beet with sodium supplementation. *Arch. Agron. Soil Sci.* 63, 856–869. <https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1240364>

Bangroo, S.A., M.I. Bhat, Tahir Ali, Aziz M.A., M.A. Bhat, and Mushtaq A. (2010). WaniDiagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) – A Review S.A. *International Journal of Current Research* Vol.10, pp.084-097.

Bataglia, O.C.; Dechen, A.R.; Santos, W.R. (1996) Princípios da diagnose foliar. In: ALVAREZ, V.H.V., FONTES, L.E.F., FONTES, M.P.F. (eds.) O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. SBCS-UFV, p.647-660.

Beaufils, E. R. (1973) Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Pietermaritzburg: University of Natal, 132 p. (*Soil Science Bulletin*, 1).

Béné, C., Barange, M., Subasinghe, R., Pinstруп-Andersen, P., Merino, G., Hemre, G.-I., Williams, M., (2015). Feeding 9 billion by 2050 – Putting fish back on the menu. *Food Secur.* 7, 261–274. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0427-z>

Bhargava, B.S.; Chadha, K.L. (1988). Leaf nutrient guide for fruit and plantation crops. *Fertilizer News*, v. 33, n.7, p. 21-29.

Chang, T. T.; Bardenas, E. A. (1965) The morphology and varietal characteristics of the rice plant. Los Baños: IRRI. 40 p. (*IRRI. Technical Bulletin*, 4).

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Séries históricas. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&>. Acesso em: 15 novembro. 2021.

CQFS-RS/SC, (2016). Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, 11th ed. Pallotti, Porto Alegre.

Da Cruz, T.N.M., Savassa, S.M., Montanha, G.S., Ishida, J.K., de Almeida, E., Tsai, S.M., Lavres Junior, J., Pereira de Carvalho, H.W., (2019). A new glance on root-to-shoot in vivo zinc transport and time-dependent physiological effects of ZnSO₄ and ZnO nanoparticles on plants. *Sci. Rep.* 9, 10416. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46796-3>

Duistermaat, H. (1987). Uma revisão de *Oryza* (Gramineae) na Malésia e Austrália. - *Blumea* 32: 157-193.

Egozcue, J. J.; Pawlowsky-Glahn, V. (2005). Groups of parts and their balances in compositional data analysis. *Mathematical Geology*, New York, v. 37, p. 795-828.

Fageria, V.D., (2001). Nutrient interactions in crop plants. *J. Plant Nutr.* 24, 1269–1290. <https://doi.org/10.1081/PLN-100106981>

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistics, Acesso em :02 de dezembro de 2020.

Gott, R.M., Aquino, L.A., Clemente, J.M., Santos, L.P.D. Dos, Carvalho, A.M.X., Xavier, F.O., (2017). Foliar Diagnosis Indexes for Corn by the Methods Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) and Nutritional Composition (CND). *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 48, 11–19. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1253714>

Holland, D. A. (1966). The interpretation of leaf analysis. *Journal of Horticultural Sciences*, Bangalore, India, v. 41, p. 311-329.

IRGA, (2018). Boletim de resultados da lavoura de arroz safra 2017/18 [WWW Document]. URL <https://irga-admin.rs.gov.br/upload/arquivos/201807/30100758-boletim-final-da-safra-201-18-final.pdf>

IRGA. Custo de produção médio ponderado do arroz irrigado do Rio Grande do Sul Safra 2017/2018. Instituto Rio Grandense do Arroz, 2018.

IRGA. Evolução da produtividade e projeto 10 no arroz irrigado do Rio Grande do Sul. Instituto Rio Grandense do Arroz, 2019.

Izaguirre-Mayoral M. L, Sinclair T. R., (2005). Variation in Manganese and Iron Accumulation Among Soybean Genotypes Growing on Hydroponic Solutions of Differing Manganese and Nitrate Concentrations, *Journal of Plant Nutrition* V.28, 521-535p. <https://doi.org/10.1081/PLN-200049204>

Labaid, B., Mouna, Serra, Pereira, A., Mimoun, B., Mehdi, (2018). Establishment of nutrients optimal range for nutritional diagnosis of mandarins based on DRIS and CND methods. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 49, 2557–2570. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1526944>

Lagatu, H.; Maume, L. (1934a). Le diagsontic foliaire de la pomme de terre. Ann. Ecology Nature Agriculture, Montpellier, v.22, p.50-158.

Lagatu, H.; Maume, L. (1934b). Recherches sur lê diagnostic foliaire. Ann. Ecology Nature Agriculture, Montpellier, v.22, p.257-306.

Li C.et al. (2006) Rice domestication by reducing shattering. Science. 311: 1936-1939.

Linnaeus, C. (1753). Espécie Plantarum. - L. Salvus, Estocolmo. Shastry, SVS e Sharma, SD 1974. Rice. - Em: Evolucionário Marschner, (1995). H. Mineral nutrition of higher plants. San Diego: Academic Press.

Menezes, V. G et. al. (2012). Projeto 10: estratégias de manejo para aumento da produtividade e da sustentabilidade da lavoura de arroz irrigado no RS: avanços e novos desafios. Cachoeirinha: IRGA/Estação experimental do Arroz.

Meus, L.D., Silva, M.R. da, Ribas, G.G., Zanon, A.J., Rossato, I.G., Pereira, V.F., Pilecco, I.B., Ribeiro, B.S.M.R., Souza, P.M. de, Nascimento, M. de F. do Poersch, A.H., Junior, A.J.D., Quintero, C.E., Garrido, G.C., Carmona, L. de C., Streck, N.A., (2020). Ecofisiologia do arroz visando altas produutividades, 1a. ed. Pallotti, Santa Maria.

Mukamuhirwa, A., Hovmalm, H.P., Ortiz, R., Nyamangyoku, O., Johansson, E., (2018). Quality and Grain Yield Attributes of Rwandan Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivars Grown in a Biotron Applying Two NPK Levels. <https://doi.org/10.1155/2018/5134569>

Nowaki, R.H.D., Parent, S.-É., Cecílio Filho, A.B., Rozane, D.E., Meneses, N.B., Silva, J.A. dos S. da, Natale, W., Parent, L.E., (2017). Phosphorus Over-Fertilization and Nutrient Misbalance of Irrigated Tomato Crops in Brazil. Front. Plant Sci. 8, 825. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00825>

Panhwar, Q.A., Ali, A., Naher, U.A., Memon, M.Y., (2019). Fertilizer Management Strategies for Enhancing Nutrient Use Efficiency and Sustainable Wheat Production, in: Organic Farming. Elsevier, pp. 17–39. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813272-2.00002-1>

Parent, L. E. (2011). Diagnosis of the nutrient compositional space of fruit crops. Revista Brasileira de Fruticultura., v. 33, p. 321-334.

Parent, L.E., Dafir, M., (1992). A Theoretical Concept of Compositional Nutrient Diagnosis. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 117, 239–242. <https://doi.org/10.21273/JASHS.117.2.239>

Parent, L.E., Natale, W., Ziadi, N., (2009). Compositional nutrient diagnosis of corn using the Mahalanobis distance as nutrient imbalance index. Can. J. Soil Sci. 89, 383–390. <https://doi.org/10.4141/cjss08050>

- Parent, S.E., Parent, L.E., Rozane, D.-E., Natale, W., (2013). Plant ionome diagnosis using sound balances: case study with mango (*Mangifera Indica*). *Front. Plant Sci.* 4, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00449>
- Rozane, D.E., Mattos, D., Parent, S.-É., Natale, W., Parent, L.E., (2015). Meta-analysis in the Selection of Groups in Varieties of Citrus. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 46, 1948–1959. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1069307>
- Rozane, D.E., Parent, L.E., Natale, W., (2015). Evolution of the predictive criteria for the tropical fruit tree nutritional status. *Científica* 44, 102. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2016v44n1p102-112>
- Sadras, V.O., Cassman, K.G.G., Grassini, P., Hall, A.J., Bastiaanssen, W.G.M., Laborte, A.G., Milne, A.E., Sileshi, G., Steduto, P., (2015). Yield gap analysis of field crops, Methods and case studies, FAO Water Reports.
- Schmitt M. R., Edwards G. E., (1981). Photosynthetic Capacity and Nitrogen Use Efficiency of Maize, Wheat, and Rice: A Comparison Between C3 and C4 Photosynthesis *Journal of Experimental Botany*, Volume 32, p.459–466, <https://doi.org/10.1093/jxb/32.3.459>
- Singh, R., Srivastava, M., Shukla, A., (2016). Environmental sustainability of bioethanol production from rice straw in India: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 54, 202–216. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.005>
- Singh, S.K., Reddy, V.R., Sharma, M.P., Agnihotri, R., (2015). Dynamics of Plant Nutrients, Utilization and Uptake, and Soil Microbial Community in Crops Under Stone, E.C., Hornberger, G.M., (2016). Impacts of management alternatives on rice yield and nitrogen losses to the environment: A case study in rural Sri Lanka. *Sci. Total Environ.* 542, 271–276. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.097>
- Tittonell, P., Zingore, S., van Wijk, M.T., Corbeels, M., Giller, K.E., (2007). Nutrient use efficiencies and crop responses to N, P and manure applications in Zimbabwean soils: Exploring management strategies across soil fertility gradients. *F. Crop. Res.* 100, 348–368. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.09.003>
- Ulrich, A.; Hills, F. J. (1967) Principles and practices of plant analysis. In: Soil testing and plant analysis. Madison: SSSA. p.11-24. (Special Publications Series).
- USDA, (2019). Approved by the World Agricultural Outlook Board [WWW Document]. URL <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf> (accessed 6.18.19).
- Van Keulen, H., (1982). Graphical analysis of annual crop response to fertiliser application. *Agric. Syst.* 9, 113–126. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(82\)90026-9](https://doi.org/10.1016/0308-521X(82)90026-9)

Vieira, R.C.B., Fontoura, S.M.V., Bayer, C., Moraes, R.P. de, Carniel, E., (2015). Adubação Fosfatada para Alta Produtividade de Soja, Milho e Cereais de Inverno Cultivados em Rotação em Latossolos em Plantio Direto no Centro-Sul do Paraná. *Rev. Bras. Ciência do Solo* 39, 794–808.

<https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140463>

Xavier, A. I. (2019). Análise econômico-produtiva em lavouras de arroz na região central do Rio Grande do Sul. *Revista Plantio Direto*, v. 169, p. 1.

Xu, M., Zhang, J., Wu, F., Wang, X., (2015). Nutritional Diagnosis for Apple by DRIS, CND and DOP. *Adv. J. Food Sci. Technol.* 7, 266–273.

<https://doi.org/10.19026/ajfst.7.1306>

Yetisir, H., Özdemir, A., Aras, V., Candır, E. and Aslan, Ö. (2013) Rootstocks effect on plant nutrition concentration in different organ of grafted watermelon. *Agricultural Sciences*, 4, 230-237. doi: 10.4236/as.2013.45033.