

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL PARA A CULTURA DA
SOJA NA REGIÃO CENTRO SUL DO MATO GROSSO DO SUL**

VANESSA DO AMARAL CONRAD DE MORAIS

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL

2020

**DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL PARA A CULTURA DA
SOJA NA REGIÃO CENTRO SUL DO MATO GROSSO DO SUL**

VANESSA DO AMARAL CONRAD DE MORAIS

Engenheira Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. Munir Mauad

Co-Orientador: Dr. Ademar Pereira Serra

Tese apresentada a Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutora.

Dourados

Mato Grosso do Sul

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

M828d Morais, Vanessa Do Amaral Conrad De
DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL PARA A CULTURA DA SOJA NA
REGIÃO CENTRO SUL DO MATO GROSSO DO SUL [recurso eletrônico] / Vanessa Do Amaral
Conrad De Morais. -- 2020.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Munir Mauad.
Coorientador: Ademar Pereira Serra.
Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2020.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. diagnose nutricional. 2. nutrição mineral. 3. análise multivariada. I. Mauad, Munir. II. Serra,
Ademar Pereira. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

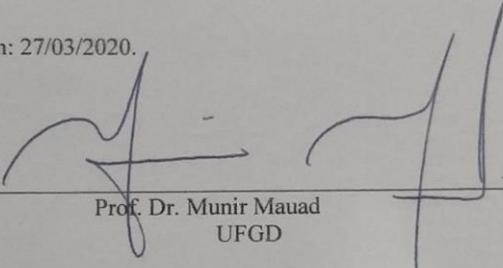
**“Diagnose da Composição Nutricional para a Cultura da Soja na Região Centro
Sul do Mato Grosso do Sul”**

por

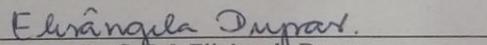
VANESSA DO AMARAL CONRAD DE MORAIS

Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
DOUTORA EM AGRONOMIA

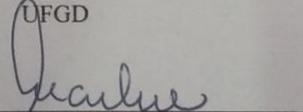
Aprovada em: 27/03/2020.



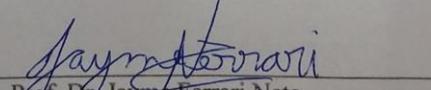
Prof. Dr. Munir Mauad
UFGD



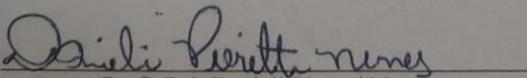
Prof. Dr. Elisângela Dupas
UFGD



Prof. Dr. Marlene Estevão Marchetti
UFGD



Prof. Dr. Jayme Ferrari Neto
UCDB



Prof. Dr. Danieli Pieretti Nunes
ANHANGUERA

Aos meus pais Luiz e Lady, as minhas irmãs Larissa e Bruna, ao meu esposo Henrique e minhas filhas Maria Júlia e Ana Luiza, por toda confiança, amor e apoio sendo meus exemplos de vida. Muitas vezes me auxiliando e orientando para a realização dos meus sonhos. Eternamente grata a vocês!

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por me conceder força, determinação, coragem e sabedoria para vencer mais essa etapa em minha vida.

Aos meus pais Luiz e Lady que me deram a vida, educação, base e me ensinaram a viver com respeito e dignidade.

Ao meu esposo Henrique, por todo amor, amizade, dedicação, companheirismo e me auxiliar nos momentos difíceis.

Às minhas irmãs Bruna e Larissa por todo companheirismo e ajuda nos momentos da vida.

Às minhas filhas Maria Júlia e Ana Luiza por ser o motivo de querer ser cada vez uma pessoa melhor e querer ser um exemplo a elas.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Munir Mauad por toda dedicação, amizade, auxílio, orientações e pela confiança em mim depositada.

Ao meu Co-orientador Dr. Ademar Pereira Serra por toda amizade, auxílio, orientação e apoio dado na execução do projeto.

À minha antiga orientadora Prof. Dra. Marlene Estevão Marchetti, por ter me orientado e apoiado no percurso da graduação e mestrado.

À banca examinadora pelas valiosas correções e sugestões.

À UFGD, pela concessão da bolsa de doutorado.

A todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte deste caminho e contribuíram para realização desta pesquisa.

SUMÁRIO

RESUMO	IX
ABSTRACT	X
1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Panorama da cultura da soja	13
2.2 Diagnose foliar	15
2.4 Característica de operação do receptor (curva ROC)	20
2.5 Análise discriminante múltipla (ADM)	20
2.6 Análise de componente principal (ACP)	21
2.7 Normas CND e Índice de potencial de resposta a adubação	21
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
2.1 Caracterização da área amostrada	23
2.2. Cultivares e manejo da área	25
2.3 Base de dados.....	25
2.3.1 Base de dados para gerar normas CND	26
2.4 Cálculo das normas CND	26
2.5 Cálculo dos índices CND.....	27
2.6. Cálculo da distância de Mahalanobis	27
2.7 Seleção de subpopulações	28
2.8 Cate-Nelson.....	28
2.9 Teste de precisões	29
2.10 Normas CND.....	29
2.11 Análise de discriminante múltipla (ADM) e Característica de Operação do Receptor (ROC).....	30
2.12 Análise de componentes principais (ACP)	30
2.13 Validação das normas	30
2.14 Índice de potencial de resposta a adubação	31
2.15 Estatística	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 Remoção dos <i>outliers</i> e teste de normalidade.....	33
4.2 Distância de Mahalanobis e Cate-Nelson	36
4.3 Normas CND-clr.....	38
4.4 Análise discriminante múltipla (ADM)	39
4.5 Análise da característica de operação do receptor (curva ROC).....	41

4.6 Análise de componente principal (ACP)	42
4.7 Balanço nutricional	45
4.8 Potencial de resposta a adubação	47
4. CONCLUSÃO	50
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
Anexo 1	49
Anexo 2	60

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. Interpretação dos índices CND pelo critério do potencial de resposta à adubação, adaptado de Wadt (1996).....	31
QUADRO 2. Estatística descritiva da população de alta produtividade da cultura da soja na região centro sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.....	37
QUADRO 3. Teste de diagnóstico, segundo Parent et al. (2016), para seleção de populações de referência. UFGD, Dourados-MS, 2020.....	38
QUADRO 4. Normas CND-clr da soja no centro sul do Mato Grosso do Sul com uma população de alta produtividade e equilíbrio nutricional. UFGD, Dourados-MS, 2020...	39
QUADRO 5. Teste de igualdade de médias de grupos, aplicado na análise discriminante múltipla (ADM) na cultura da soja no centro sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.....	40
QUADRO 6. Análise da característica de operação do receptor (curva ROC) em relação a produtividade e distância de Mahalanobis. UFGD, Dourados-MS, 2020.....	41
QUADRO 7. Autovalores da análise dos componentes principais (ACP) calculados numa população de soja de alta produtividade. UFGD, Dourados-MS, 2020.....	42
QUADRO 8. Matriz de componente rotativa gerada pela análise de componente principal (ACP) pelas normas CND (V_x^*) e componente principal. UFGD, Dourados-MS, 2020.....	43

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Precipitação pluvial mensal (mm) durante o período experimental, na cultura da soja na região centro sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.....	24
FIGURA 2. Dados de temperatura média (°C) durante o período experimental, sendo figura, na cultura da soja na região centro sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.....	24
FIGURA 3. Identificação de <i>outliers</i> pela distância de Mahalanobis e remoção de <i>outliers</i> , na cultura da soja na região centro sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.....	35
FIGURA 4. Histogramas com relação a distribuição normal dos teores foliares na distância de Mahalanobis e produtividade na cultura da soja, na região centro Sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.....	35
FIGURA 5. Partição de Cate-Nelson entre distância de Mahalanobis para variáveis multivariadas (CND-clr) e produtividade da cultura da soja, classificando indivíduos em quatro subpopulações; VN (verdadeiro negativo), FP (falso positivo), FN (falso negativo) e VP (verdadeiro positivo). UFGD, Dourados-MS, 2020.....	36
FIGURA 6. Análise discriminante múltipla (ADM), dos grupos de classificação mediante uso da distância de Mahalanobis, produtividade e CND r^2 , verificando a distinção entre os grupos classificados como VN (verdadeiro negativo), FP (falso positivo), FN (falso negativo) e VP (verdadeiro positivo) na cultura da soja na região centro sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.....	60
FIGURA 7. Análise da característica de operação do receptor (curva ROC) com relação a produtividade (A) e distância de Mahalanobis (B) na cultura da soja na região centro Sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.....	41
FIGURA 8. Análise gráfica da distribuição dos componentes principais para as normas CND-clr (relação logarítmica centrada) na população de alta produtividade selecionada na cultura da soja na região centro sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.	43
FIGURA 9. Índices CND-clr em diferentes produtividades de soja na região Sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.....	46
FIGURA 10. Potencial de resposta dos critérios em porcentagem, baseado nas normas CND-clr criadas para as populações de alta referência. (p = positiva; pz = positiva ou nula; z = nula; nz = negativa ou nula; n = negativa), na cultura da soja no centro Sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.....	48

DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL PARA A CULTURA DA SOJA NA REGIÃO CENTRO SUL DO MATO GROSSO DO SUL

RESUMO

O objetivo na realização dessa pesquisa foi desenvolver normas CND para cultura da soja na região Centro Sul de Mato Grosso do Sul, desenvolvendo padrões de referência preliminares para a diagnose da composição nutricional de tecido foliar da planta de soja, mediante a utilização da transformação das concentrações de nutrientes pela relação logarítmica centrada [centered log ratio (clr)], verificando se há eficiência no uso da distância de Mahalanobis e Cate-Nelson na seleção de população de referência e posteriormente validar essas normas diagnosticando o potencial de resposta a adubação dos talhões analisados dentro da população referência. O trabalho foi desenvolvido na região centro sul do Mato Grosso do Sul, em áreas comerciais que utilizam a sucessão de cultura soja-milho, e tiveram aplicação de calcário nos últimos dois anos. Sendo realizado em 32 fazendas, situadas nos municípios de Aral Moreira (8 fazendas), Dourados (8 fazendas), Laguna Caarapã (8 fazendas) e Ponta Porã (8 fazendas), durante a safra 2017/18 e 2018/19. Foi realizada a coleta de folha quando as plantas atingiram o estágio fenológico R₂, e a produtividade foi determinada colhendo-se todos os talhões quando as plantas atingiram o estágio R₈. O uso da distância de Mahalanobis e Cate-Nelson torna o processo de seleção da população de referência mais rigoroso com a exclusão de *outliers* tornando o banco de dados mais eficaz para o desenvolvimento das normas CND-clr. Por meio da análise do potencial de resposta a adubação foi diagnosticado que os elementos que possuem maior deficiência e assim responderiam a adubação retornando em maior produtividade nas amostras analisadas são respectivamente: N, K, S, Mg, Zn, B, P, Ca e Fe. O nitrogênio é o nutriente que apresentou maior frequência como deficiente nos talhões analisados, com base no histórico da área, conclui-se que essa deficiência não é devido à falta desse nutriente de forma mineral, mas sim melhorar o manejo de culturas utilizadas a fim de melhorar a disponibilidade desse nutriente de forma orgânica.

Palavras-chave: diagnose nutricional, nutrição mineral, análise multivariada.

DIAGNOSIS OF NUTRITIONAL COMPOSITION FOR SOYBEAN CULTURE IN THE SOUTHCENTRAL REGION OF MATO GROSSO DO SUL

ABSTRACT

The present study aimed to develop Compositional Nutrient Diagnosis (CND) standards for soybean crops from Mato Grosso do Sul, developing preliminary reference standards for the diagnosis of the nutritional composition of leaf tissue of the soybean plant, through the use of nutrient concentrations processing by the logarithmic relationship centered on [centered log-ratio (CLR)], checking for efficiency in the use of Mahalanobis and Cate-Nelson distance in reference population selection, and subsequently validating these standards by diagnosing the potential to respond to fertilization of the plots analyzed within the reference population. The work was carried out in the south-central of Mato Grosso do Sul, in commercial areas that use the succession of the soybean-corn crop, and have had lime applications in the last two years. Being carried out in 32 farms, located in the municipalities of Aral Moreira (8 farms), Dourados (8 farms), Laguna Caarapã (8 farms), and Ponta Porã (8 farms), during the 2017/18 and 2018/19 harvest. Leaf collection was performed when the plants reached the phenological stage R₂, and productivity was determined by harvesting all plots when the plants reached the R₈ stage. The use of Mahalanobis and Cate-Nelson distance makes the selection process of the reference population more rigorous with the exclusion of outliers making the database more effective for the development of CND-clr standards. Through the analysis of the potential response to fertilization, it was diagnosed that the elements that have the greatest deficiency and thus would respond to fertilization returning in greater productivity in the analyzed samples are respectively: N, K, S, Mg, Zn, B, P, Ca and Fe. Nitrogen is the nutrient that showed the highest frequency as deficient in the analyzed plots, based on the history of the area, it is concluded that this deficiency is not due to the lack of this nutrient in a mineral form, but rather to improve the management of crops used a in order to improve the availability of this nutrient organically.

Key-words: nutritional diagnosis, mineral nutrition, multivariate analysis

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos 40 anos a produção de soja do Brasil teve um grande salto em volume produzido, passando de 26 milhões de toneladas para 120 milhões de toneladas de grão (APROSOJA, 2019) em uma área de 36,8 milhões de hectares (CONAB, 2020), sendo que cerca de 44% desse volume produzido é destinado para a exportação demonstrando o papel importante desta cultura na cadeia de produção de grãos do Brasil.

O estado do Mato Grosso do Sul cultiva aproximadamente 2,95 milhões de hectares, produzindo 10 milhões de toneladas, (CONAB, 2020) sendo que essa produção representa 30% do PIB do estado (SEMAGRO, 2019), e suas áreas de cultivo vem aumentando a cada ano, tendo assim grande importância para a economia do estado, além do acréscimo das áreas de cultivo, a busca por maiores produções nas áreas é um fator determinante para quem atua no setor, pois os custos de produção a cada ano vêm sendo elevados.

O sistema de produção de soja em Mato Grosso do Sul é caracterizado pela sucessão de culturas (RIBEIRO et al., 2018), onde na primeira safra (set-dez) é semeada a cultura da soja, e na segunda safra (jan-marc) a cultura do milho (BORLACHENCO e GOLÇALVES, 2017; ARTUZO et al., 2018); sendo que a adaptação dessas culturas na região juntamente com sua facilidade de mercado são os principais motivos de serem as culturas mais cultivadas.

Dentre os vários fatores que influencia a produtividade da cultura da soja a adubação apresenta papel importante quer seja do ponto de vista econômico que pode representar até 30% do custo final de produção da soja (IFAG, 2020), que seja do ponto de vista ambiental com menor impacto no solo.

O manejo da adubação varia de em função da área, podendo ser a lanço ou no sulco dependendo da textura, teor de nutrientes no solo e máquinas, entre outros fatores. Assim há necessidade de ferramentas, como o uso da diagnose nutricional para auxiliar na tomada das decisões quanto a adubação (PARENT e NATALI, 2008), a fim de torná-la mais eficiente e rentável.

A diagnose nutricional, é uma ferramenta muito importante para obtenção de altos rendimentos, e os métodos mais utilizados são: nível crítico e faixa de suficiência, porém eles se limitam na interpretação dos resultados pois analisam os nutrientes de forma isolada (KURIHARA et al., 2013 a).

Como os nutrientes não estão de forma isolada na planta e sim interagem-se entre si, surgiram modelos como o sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) (BEAUFILS, 1973), que realiza análises bivariadas entre os teores de nutrientes na concentração na planta, e posteriormente a diagnose da composição nutricional (CND) (PARENT e DAFIR, 1992), na qual analisa os teores dos nutrientes de forma multivariada, conseguindo assim uma relação entre o equilíbrio nutricional da planta com a interação entre as concentrações dos nutrientes no tecido foliar (SERRA et al., 2010).

O método da diagnose da composição nutricional (CND) é baseado no método composicional de Aitchison (1982), no qual possibilita relacionar a estatística dos dados de composição, baseando-se nos valores multinutrientes, ponderadas na média geométrica da composição nutricional, fornecendo uma relação de todos os nutrientes na planta, fornecendo uma informação mais precisa para tomada de decisão na adubação, podendo assim aumentar a dose de um nutriente necessário e reduzir os que estão em excesso, aprimorando a eficiência econômica e nutricional.

Para a elaboração do método CND, descrito por Parent e Dafir (1992) é necessária uma seleção da população de referência, onde é gerada as normas CND e posteriormente essas normas são utilizadas na diagnose nutricional de amostras de interesse, surgindo assim os índices CND, os quais podem ser interpretados pelo potencial de resposta à adubação (WADT, 1996) ou pelos valores positivos e negativos dos índices CND que resultam em maior ou menor limitação dos nutrientes.

Sendo assim, o objetivo na realização dessa pesquisa foi desenvolver normas CND para cultura da soja na região centro sul do Mato Grosso do Sul, desenvolver padrões de referência preliminares para a diagnose da composição nutricional de tecido foliar da planta de soja, mediante a utilização da transformação das concentrações de nutrientes pela relação logarítmica centrada [centered log ratio (clr)], verificar se há eficiência no uso da distância de Mahalanobis e Cate-Nelson na seleção de população de referência e posteriormente validar essas normas diagnosticando o índice de potencial de resposta a adubação dos talhões analisados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Panorama da cultura da soja

Atualmente o custo de produção da cultura da soja vem aumentando devido a utilização de novas tecnologias e a incrementos no custo de insumos agrícolas como, defensivos, sementes, máquinas e implementos agrícolas e mão de obra. Assim a utilização do manejo eficiente tende a reduzir o custo de produção e resultar em maior rentabilidade econômica ao produtor rural (IBGE, 2020).

Dentro do sistema de cultivo do estado de Mato Grosso do Sul, o qual apresenta 3,2 milhões de hectares de cultivo de soja no verão, com semeadura nos meses de setembro a dezembro, sendo posteriormente cultivado o milho safrinha em sucessão a soja, sendo semeado de janeiro a março (CONAB, 2020).

O sistema de cultivo de sucessão (soja e milho) consegue abranger boa parte dessas áreas, pois o milho deixa residual de palhada no solo e com seu manejo reduz a incidência de plantas daninhas, o que facilita o manejo da cultura da soja utilizando menos herbicidas, além das vantagens que a cobertura do solo traz para a cultura posterior, como redução de temperatura, melhora armazenamento de água, facilita crescimento radicular, disponibiliza nutrientes com a decomposição da palhada (BRANT et al., 2006). Sendo assim, boa parte da área cultivada de soja é sucedida por milho, o que na parte fisiológica e econômica tiveram uma boa adequação na região, como pode ser visto em trabalhos desenvolvidos como Ferreira et al. (2016).

Analisando o processo de produção da soja, a adubação é responsável por cerca de 30% do custo final (SEMAGRO, 2019), ou seja, se conseguir realizar um manejo adequado e racional da mesma consegue-se uma redução de custo sem afetar a produtividade. Há muitos fatores que devem ser considerados para definição da dose correta a ser aplicada e sua não observância poderá requerer uma nova aplicação, com impactos diretos no custo de produção, além de outros fatores (UMBELINO, et al., 2018).

A falta de rotação de culturas, a baixa disponibilidade de palha, a pouca quantidade de raízes ao longo do perfil do solo, em função do sistema de produção predominante sucessão de cultura – soja/milho - interfere na qualidade física do solo. Esse aspecto tem efeito direto na qualidade química e biológica do solo. Muitas vezes, para minimizar o problema, aumenta-se a quantidade de fertilizantes e, conseqüentemente, o

custo de produção. A resposta das plantas aos fertilizantes químicos depende da qualidade física e biológica do solo. Em Mato Grosso do Sul, o preço do adubo (macronutrientes) para soja safra 2019/2020 foi 20% maior que o preço pago na safra 2018/2019 (RICHETTI, 2019).

No manejo da adubação da cultura da soja, a forma mais utilizada é o indicado por Souza e Lobato (2004), onde visa a inoculação da soja para fornecimento de nitrogênio para a cultura (HUNGRIA et al., 2001) e doses de macro e micronutrientes de acordo com a interpretação da análise de solo. O manejo da adubação fosfatada varia de acordo com a região, tipo de solo e maquinário disponível, podendo ser aplicada de modo superficial ao solo quando já estiver corrigido seus níveis ou através do uso de sulcadores (MATOS et al., 2006). Já a adubação potássica pode ser aplicada antecipadamente do plantio ou posterior ao plantio dependendo do teor de argila do solo (CAVALINE et al., 2018), mostrando assim, a importância que os manejos adequados com doses realmente necessárias são fundamentais para que a produtividade da cultura não seja afetada por excesso ou falta de algum nutriente, buscando assim o equilíbrio nutricional da planta (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012). Tendo como base o solo onde está disponível os nutrientes para o desenvolvimento da planta, o mesmo muitas vezes não está em equilíbrio, ou seja, indisponibiliza algum nutriente por desequilíbrio de outro, ou algum outro fator que não permite a absorção de algum nutriente (MARSCHNER, 2012).

Sendo assim, há ferramentas que podem ser utilizadas para auxiliar na interpretação dos nutrientes que estão sendo absorvidos, a mais utilizada e a avaliação do estado nutricional. Essa avaliação é baseada pelo fato de comparar uma planta com uma população de plantas referência, está podendo ser tanto cultivadas como áreas comerciais, quanto plantas em áreas de condições controladas desde que as plantas não possuam algum nutriente que limite sua produção (MALAVOLTA et al., 1997) e tenha a sua produção real.

Há vários métodos para análise do estado nutricional das plantas, tais como: diagnose visual, análise foliar, teste de tecidos, bioquímicos, aplicações foliares e teor de clorofila. Sendo os dois primeiros mais utilizados devido ter uma aplicação mais prática (FAQUIN 1997, 2002).

Dentro desses métodos a diagnose visual consiste em comparar o aspecto (cor, tamanho e forma) da folha de uma planta com a população chamada de referência ou padrão, ou seja, uma com alto potencial de produção sem limitação nutricional para seu desenvolvimento. Porém há algumas limitações, tais como a confusão de sintomas

nutricionais com outros não nutricionais, permite apenas a manifestação do nutriente mais crítico, não determinando assim a fome ou excesso oculto, só conseguindo diagnosticar quando aparece o sintoma, ou seja, o desenvolvimento da planta e produção já foram afetados, e o principal que é um método qualitativa, ou seja, apenas diagnostica o nutriente, mas não a dose para correção (PARENT e NATALI, 2008).

A diagnose foliar é o método mais utilizado, pois além de sua praticidade em análise e através desse método consegue-se quantificar o teor de nutrientes que há na planta, sendo uma ferramenta a mais no auxílio do manejo da adubação (MARSCHNER, 2012).

2.2 Diagnose foliar

A diagnose foliar é caracterizada pela concentração dos nutrientes da folha, pois nela está presente as principais reações químicas da planta e está em constante alteração quando há alguma alteração nutricional, e também pelo fato de ser o órgão que melhor representa o estado nutricional da planta (MALAVOLTA, 2006).

Essa diagnose auxilia na melhor interpretação do que está realmente acontecendo em dado momento por meio das análises químicas das folhas, permitindo também melhor interpretação dos teores de N e micronutrientes que a análise de solo não está tão consolidada (MORO, 2017).

Essa diagnose é baseada na premissa de que há relação direta entre adubação e a produção, dose de adubo e concentração foliar e produção. Visa estabelecer o uso eficiente de adubação para o máximo potencial produtivo sem que haja consumo de luxo (PRADO, 2012).

São realizadas três etapas nesse método, sendo a primeira a normatização das amostras, com o preparo e análise química; segundo obtenção das amostras padrões e por terceiro a interpretação dos resultados (MARTINEZ et al., 1999).

A amostragem é a fase mais crítica, ou seja, ela define o sucesso ou não do seu resultado. Como a cultura passa por vários estágios de desenvolvimento, há inúmeras literaturas que já estabeleceram a época, qual parte da planta e a quantidade a ser coletada para realizar uma amostra que realmente identifique o estado nutricional da cultura a ser analisada, comparando com os padrões já estabelecidos (PRADO, 2012).

Como há translocação de nutrientes de acordo com sua mobilidade (TAIZ e ZEIGER, 2017) na planta, como já dito anteriormente, deve-se seguir o padrão de literatura para realizar a coleta das folhas a fim de ter uma amostra homogênea da nutrição das plantas do talhão. No geral a folha coletada é a recém madura, ou seja, aquela que já atingiu seu crescimento total sem que tenha entrado em senescência, cada cultura possui seu padrão de época de amostragem e número de amostras por talhão.

Na cultura da soja de crescimento indeterminado o indicado é realizar a coleta das folhas de 45 a 50 dias após emergência foi realizada a coleta das folhas (plantas apresentavam de 8 a 10 nós florados – estágio fenológico R₂), com 30 amostras de folhas por talhão coletadas em zigue-zague e mantendo o padrão (MALAVOLTA, et.al 1997).

Após a coleta das folhas, deve-se realizar a análise química feita em laboratório. O ideal é que a amostra chegue o mais rápido possível até o mesmo a fim de evitar decomposição ou transpiração. Caso não chegue em 24 horas o ideal é colocar o material em saco plástico e mantê-lo em resfriamento na geladeira, estando identificado com informações do talhão. As amostras chegando em laboratório passam pelo seguinte processo: descontaminação, secagem, moagem e armazenamento. No processo de análise química, os tecidos vegetais são submetidos a mineralização ou destruição da matéria orgânica a fim de quantificar os elementos constituintes do mesmo (MARSCHNER, 2012).

As metodologias utilizadas para análise de macro e micronutrientes já foram estabelecidas por literaturas, onde não varia de cultura para cultura, apenas entre nutrientes (BATAGLIA et al., 1983; MILLS e JONES JR., 1996; SILVA, 1999).

Após as análises químicas são realizadas as interpretações dos resultados, por meio da comparação dos resultados com a população considerada como padrão, está podendo ser retirada da literatura ou realizada a seleção regional, desde que possua equilíbrio nutricional com alto potencial produtivo como pode ser observado no trabalho de Raij (2011), o qual utilizou esse método para interpretação e auxílio na adubação da cultura do milho.

Dentro os diversos métodos para interpretação dos resultados, ressaltamos os univariados (nível crítico e faixa de suficiência) e os multivariados (sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) e diagnose da composição nutricional (CND)), como descrito por Parent e Dafir, 1992.

Conforme foi observado por Fageria e Knupp (2013), há diferentes possibilidades de ocorrência de interações entre macronutrientes, entre micronutrientes e entre ambos,

que podem induzir à diminuição ou ao incremento do teor de outros nutrientes, por efeitos diretos e indiretos de diluição ou concentração, ressaltando assim a viabilidade e confiabilidade do uso de sistemas multivariados, como o DRIS e o CND.

Beaulfils (1973) desenvolveu o DRIS, sendo um método que considera o equilíbrio nutricional da planta por meio da análise foliar. Para seu uso são estabelecidas normas ou padrões, que consideram no cálculo da média da variância e do coeficiente de variação das relações dos nutrientes, dois a dois, para população padrão (lavoura de referência de alta produtividade). Para interpretação dos resultados faz-se a comparação entre as relações dos nutrientes da amostra com a média das razões de populações de referência (normas), obtendo-se assim o índice DRIS para cada nutriente analisado.

Também é fornecido um índice geral, que é o somatório geral absoluto (desconsiderando o sinal dos nutrientes), chamado de índice de equilíbrio nutricional (IEN), onde quanto menor o valor obtido melhor é o equilíbrio nutricional da cultura amostrada (BALDOCK e SCHULTE, 1996).

Esse é um método que analisa a relação binária dos nutrientes, ou seja, dois a dois, o que se limita quando é realizado a análise de componentes principais (Parent e Dafir, 1992), pois nessa análise necessita a interação dos nutrientes.

2.2 Diagnose da composição nutricional (CND)

Parent e Dafir (1992) quando foram aplicaram a estatística multivariada, neste caso a análise de componentes principais a fim de correlacionar os nutrientes, encontraram restrições. Então se basearam em transformação logarítmica centrada (do inglês 'centred log ratio'), isto é, em relação à média geométrica dos valores observados, utilizada em análise composicional, permitindo corrigir o cálculo do DRIS para produzir novas variáveis compatíveis com todos os testes estatísticos multivariados.

Unindo o conceito DRIS com a análise de componentes principais desenvolvida por Aitchison (1986), chegou ao conceito onde a soma dos dados leva a unidade de medida, como 1 para fração e 100% para percentagem, por exemplo. Com o resultado desse estudo Parent e Dafir (1992) demonstraram que a transformação logarítmica centrada, com referência a média geométrica dos valores observados utilizados nesse tipo de análise, originando assim a Diagnose da composição nutricional (CND).

O CND se diferencia do DRIS em relação à avaliação multivariada dos nutrientes entre eles, enquanto o DRIS utiliza uma relação bivariada. Sendo assim a avaliação

multivariada obtém um maior critério de diagnóstico (ANJANEYULU et al., 2008) tendo uma seleção mais rigorosa.

O primeiro passo para realização do CND é a análise das concentrações nutricionais dos elementos nos tecidos amostrados. Posteriormente os dados são passados por um teste de normalidade, utilizando o cálculo de transformação logarítmica centrada aplica a correção em distribuição não normais (LABAIED et al., 2018), transformado os dados em um *Simplex* (S8).

Se tratando de ser um método pouco explorado devido a sua difícil metodologia, não há muitos trabalhos onde estabeleçam como regra o que se pode ser considerado uma população referência, o que muitas vezes deixa certa duvida de como deve ser realizado esse processo ou que valores deve ser considerado na produtividade para ser considerado como referência (SERRA et al., 2016; KADRI, 2017;). Serra et al. (2016), utilizaram 65 amostras em algodão, enquanto Khiari et al. (2001) se basearam em 240 amostras de milho doce, e Urano et al. (2006) com 111 amostras de soja. Contudo, a ênfase é dada na qualidade do material e eficiência do banco de dados, que é dado pelo uso correto de coleta de metodologia das folhas e produtividades acima da média considerada para cada região, onde não sofreram com mau manejo da cultura (SERRA et al., 2016), sendo necessária a remoção de *outliers* que são dados onde a produtividade não está relacionada com o equilíbrio nutricional para detectar uma população rigorosa.

Como esse método é baseado na premissa de ter uma população referência para realizar a comparação e verificar o equilíbrio da cultura do talhão desejado com a população de referência, o banco de dados é um fator muito importante na hora de realizar a análise do CND, pois o mesmo deve apresentar valores de população referência de alta produtividade com o real equilíbrio nutricional, sendo necessário muitas vezes realizar testes para separar esses dados como foi observado por Khiari et al. (2001) e Serra et al. (2016).

Walworth e Summer (1987) propuseram considerar relações de variância de expressão de nutrientes para essa discriminação. Já Parent e Dafir (1992) esperavam que os próprios cálculos já gerassem essa separação, porém como não atendeu as expectativas, sugeriram a função de distribuição do qui-quadrado para definir esse valor. Serra et al (2016), sugeriu utilizar o desvio padrão e médias, porém atualmente o que vem sendo mais indicado é o uso da distância de Mahalanobis e Cate-Nelson conforme foi constatado por Jesus (2017) e Labailed et al. (2018).

Parent et al. (2016), compararam o CND-ilr com o DRIS, correlacionando seus respectivos índices de equilíbrio nutricional, ou seja, a distância de Mahalanobis (DM) para CND-ilr (PARENT, 2011) e o índice de balanço nutricional (IBN) para o DRIS (BEAUFILS, 1973) com a DM da transformação logarítmica natural do teor dos nutrientes. Embora os autores tenham obtido maior correlação com o CND-ilr (0,94) do que para o IBN (0,64), não foi feita a padronização dos métodos, aplicando-se uma metodologia multivariada (DM), também no método bivariado.

2.3 Distância de Mahalanobis e Cate-Nelson

A Distância de Mahalanobis, segundo a sua base matemática, leva em consideração a existência de correlações entre os caracteres analisados por meio da matriz de covariância (SOUZA e VICINI, 2005; LINDEN, 2009). Assim, a hipótese é que, independentemente das variáveis utilizadas, seja ela oriunda de uma relação bi ou multivariada, é possível realizar todas as relações possíveis, obtendo, dessa forma, a exemplo, população de referência semelhante que posteriormente será empregada como referência para o diagnóstico nutricional (PARENT et al., 2012).

Outra questão importante diz respeito ao método de acurácia. Segundo Beverly e Hallmark (1992), esta é a maneira ideal para se comparar os métodos de diagnose. Parent (2011), Parent et al. (2012), Parent et al. (2013 a,b), entre outros, apresentaram a partição de Cate-Nelson (NELSON e ANDERSON, 1977), calculada a partir da distância de Mahalanobis, como uma forma de acurácia, além de outros parâmetros obtidos segundo essa metodologia (sensibilidade, valor preditivo positivo, especificidade e valor preditivo negativo). Nessa partição, um diagrama de dispersão é gerado, subdividindo em quatro quadrantes para determinar um nível de teste crítico, maximizando o número de pontos nos quadrantes verdadeiros (PARENT et al., 2012).

Tal procedimento é amplamente utilizado em ciências médicas, como indicam Nelson e Anderson (1977). No que tange ao fator nutricional, envolvendo vários nutrientes e as interações entre estes, tal procedimento, distância de Mahalanobis com a partição de Cate-Nelson, segue o raciocínio de Egozcue et al. (2003). Para os autores, a estabilidade da interpretação das análises de tecido vegetal aumenta à medida que o enfoque bivariado (relações duais ou CND) é ampliado e, assim, progressivamente, às relações ternárias até idealmente abranger, mediante enfoque multivariado, toda a estrutura de variação da composição nutricional.

Conforme vem sendo observado em trabalhos como Delgado et al. (2011), a estrutura dos dados de concentração foliar de nutrientes na planta, que são definidos pela composição nutricional são considerados multivariados, dessa forma o estudo desses dados não pode via de regra serem tratados de forma isolada, havendo a necessidade de se estudar os mesmos de forma conjunta.

A fim da busca da seleção ideal com a remoção dos dados considerados inadequados, a utilização de análises estatísticas como a característica de operação do receptor (curva ROC), a análise discriminante múltipla (ADM) e a análise de componente principal (ACP), podem ser utilizadas a afim de verificar a eficiência ou não na separação da população de referência. Devido a serem análises rigorosas onde consegue distinguir os valores através de suas interações (JESUS, 2017; SERRA et al., 2016).

2.4 Característica de operação do receptor (curva ROC)

Segundo Lopes et al. (2014), a curva ROC é construída em um plano cartesiano. No eixo Y encontra-se a sensibilidade e no eixo X, 1 menos a especificidade (1-E), ambos em valores decimais. Para cada ponto de corte utilizado pelo teste são calculadas a sensibilidade e a especificidade e inserido um ponto no gráfico. A união desses pontos forma a curva ROC. A área sob a curva representa a acurácia ou performance global do teste, pois leva em consideração todos os valores de sensibilidade e especificidade para cada valor da variável do teste. Quanto maior o poder do teste em discriminar os indivíduos, mais a curva se aproxima do canto superior esquerdo, no ponto que representa a sensibilidade. Quanto melhor o teste, mais a área sob a curva ROC se aproxima de 1. Um teste com pequeno poder diagnóstico tem curvas mais retilíneas sendo assim um método estatístico muito criterioso, pois consegue distinguir os dados com sua interação, e não de forma isolada.

Assim a curva de ROC um método utilizado na área da ciência humana, pois o mesmo tende a estudar a interação dos fatores, e não ele de modo isolado, caso que consegue de adequar a nutrição mineral de plantas, pois os nutrientes estão em constante relação (ANAESTHETIST, 2001).

2.5 Análise discriminante múltipla (ADM)

O método da análise discriminante múltipla (ADM) é uma técnica da estatística multivariada utilizada para discriminar e classificar objetos. Segundo Khattree e Naik (2000) estuda a separação de objetos de uma população em duas ou mais classes. A discriminação ou separação é a primeira etapa, sendo a parte exploratória da análise e consiste em se procurar características capazes de serem utilizadas para alocar objetos em diferentes grupos previamente definidos. A classificação ou alocação pode ser definida como um conjunto de regras que serão usadas para alocar novos objetos (JOHNSON e WICHERN, 1999).

A essa técnica ADM gera um gráfico com a separação dos grupos, verificando se há distinção entre eles ou não, e posteriormente é mostrado em um gráfico essa separação dos grupos. Segundo Vallela (2004), para que ocorra uma boa distinção de grupos através dessa análise é ideal que os dados analisados sejam de mesma variância, ou seja, antes de iniciar o processo é necessário realizar análises para identificar os dados que realmente possam pertencer a um grupo através de análises como Cate-Nelson, distância de Mahalanobis e retirada de *outliers*.

2.6 Análise de componente principal (ACP)

A análise de componente principal (ACP) consiste em uma transformação linear de 'm' variáveis originais em até 'm' novas variáveis, de tal modo de a primeira nota variável computada seja responsável pela maior variação possível e assim por diante até que o conjunto tenha sido explicado (TINO, 2005). Sendo assim reduz-se o número de variáveis a serem avaliadas (MASON e YOUNG, 2002).

Esse método vem sendo muito utilizado para análise de solo e planta, como Silva e Lima (2012) que utilizou a ACP para avaliar a variabilidade do estado nutricional e produtividade do cafeeiro arábica.

2.7 Normas CND e Índice de potencial de resposta a adubação

Após passar pelos testes estatísticos, a população de referência é utilizada para gerar os índices CND da cultura e posteriormente poder ser utilizado como padrão para aferir o estado nutricional de uma população desejada, podendo desenvolver o índice de potencial de resposta de adubação, que auxilia na tomada de decisão quanto ao manejo

da adubação (URANO et al., 2006, KUHIRATA et al. 2013 b, 2008; PARENT e NATALE, 2008).

Os métodos tradicionais não possibilitam identificar a ordem de limitação dos nutrientes, não havendo a resposta com relação ao equilíbrio nutricional da planta. A utilização do CND é algo que precisa ser utilizado como rotina na diagnose nutricional, pois com esse método é possível identificar o potencial de resposta à adubação para cada nutriente na análise foliar (SERRA et al., 2013), sendo este um dos principais motivos de ser um método que vem crescendo seu uso nas grandes culturas, como soja, milho, cana e algodão.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

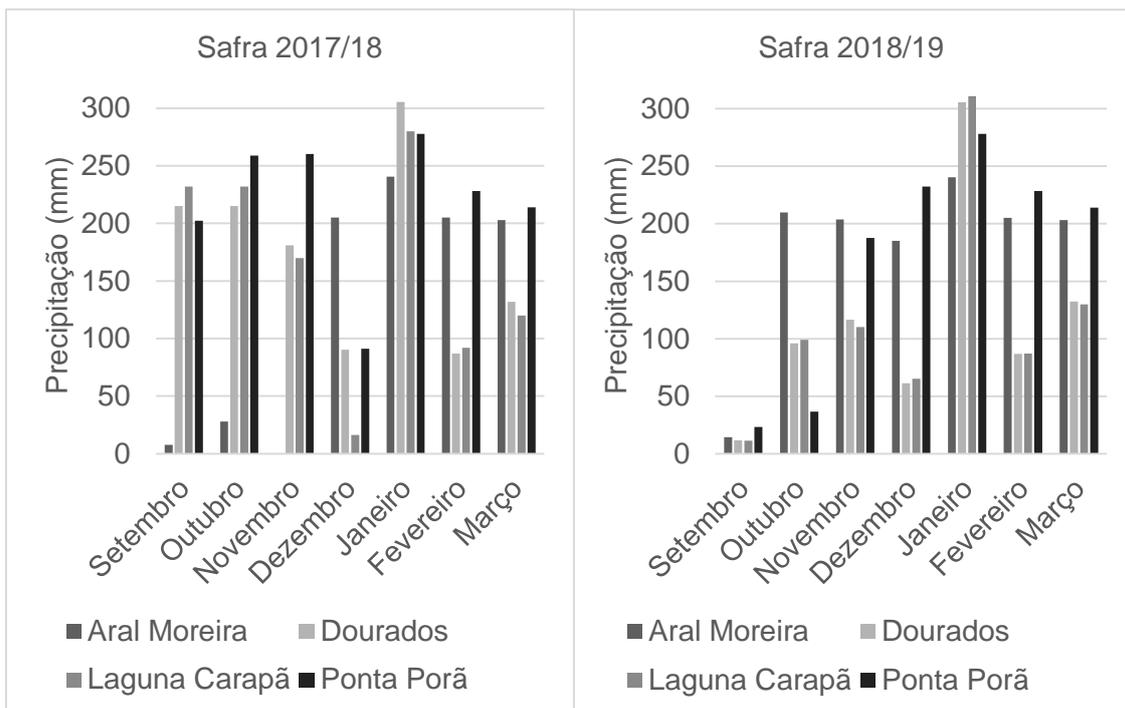
2.1 Caracterização da área amostrada

O trabalho foi realizado em 32 fazendas, situadas nos municípios de Aral Moreira (8 fazendas), Dourados (8 fazendas), Laguna Caarapã (8 fazendas) e Ponta Porã (8 fazendas), região Centro Sul do Mato Grosso do Sul, sendo que todas as áreas amostradas foram submetidas à correção de solo nos últimos dois anos (superficial ou incorporado o calcário) e todas seguem a sucessão de cultura soja verão e milho inverno. Sendo que todas as áreas são classificadas como Latossolo Vermelho Distroférico, conforme Santos et al. (2013).

Em Dourados e Laguna Carapã, o clima é caracterizado como tropical (Am), segundo KÖPPEN (1948), tendo uma temperatura média anual de 22,7 °C, e pluviosidade média anual de 1428 mm. Em Aral Moreira, o clima é quente e temperado (Cfa) e a temperatura é na média de 21,8 °C, com pluviosidade média anual de 1567 mm. E em Ponta Porã o clima é quente e temperado (Cfa) com temperatura média de 21,3 °C e pluviosidade média de 1352 mm anual.

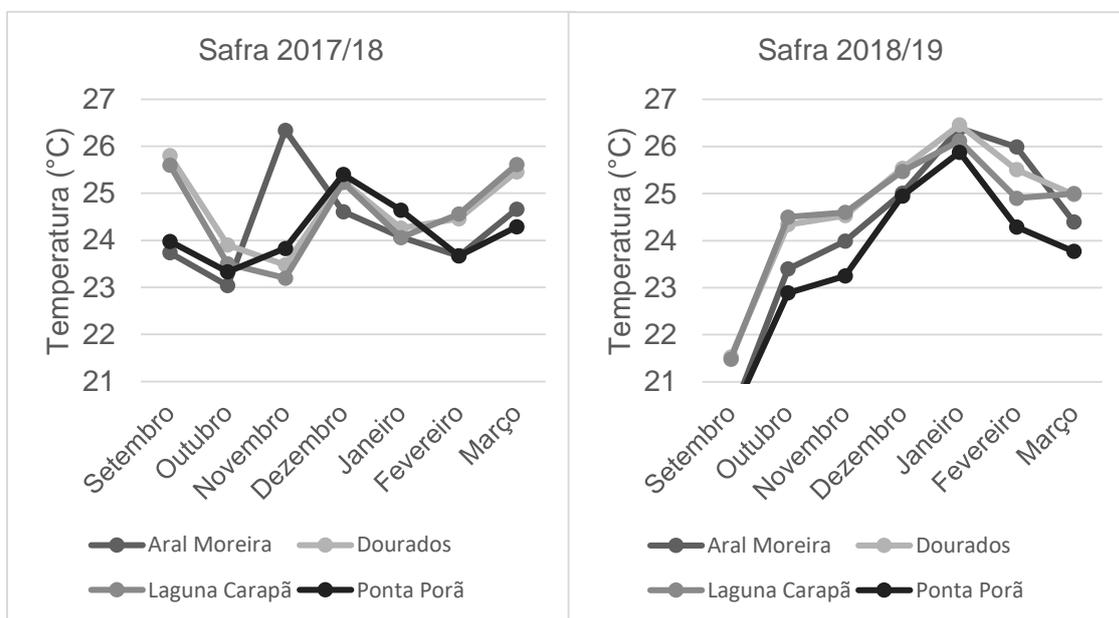
Os índices pluviométricos e temperatura média de cada região segundo o Cemtec-MS (2020), é observado na Figura 1 e 2, mostrando a média das regiões. Apresentando que durante a safra 2017/18 o índice pluviométrico ocorreu dentro do normal para as regiões, ou seja, com chuvas já no mês de setembro, porém na safra 2018/19 ocorreu um atraso na chuva, o que ocasionou dificuldades no manejo de herbicidas, pois as plantas estavam estressadas devido à falta de chuva e assim o controle de ervas daninhas não ficou tão satisfatório.

Durante a safra 2018/19 nos meses que a cultura da soja se apresentava no estágio reprodutivo R₃ ocorreu elevação na temperatura, o que em algumas áreas favoreceu o abortamento das flores da soja. E durante o estágio R₅ (enchimento de grãos), ocorreu elevada temperatura com chuvas concentradas, o que favoreceu na formação do grão.



Fonte: Inmet/Semagro/Cemtec-MS 2020

FIGURA 1. Precipitação pluviométrica mensal (mm) durante o período experimental, na cultura da soja na região centro sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.



Fonte: Inmet/Semagro/Cemtec-MS 2020

FIGURA 2. Dados de temperatura média (°C) durante o período experimental, sendo figura, na cultura da soja na região centro sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.

2.2. Cultivares e manejo da área

Os talhões constituintes de cada amostragem foram de tamanho entre 150 e 180 ha, onde todos possuem amostra de solo, foliar e produtividade controladas com manejos semelhantes e nenhum dos talhões analisados sofreu perda de produtividade por pragas e doenças.

As cultivares dos talhões foram todas de ciclo indeterminado, semeadas durante o mês de outubro tanto na safra 2017/18 quanto na safra 2018/19. As cultivares presentes nas amostras foram: Msoy-6410 IPRO e Msoy-6210 IPRO, sendo posicionado seu plantio de acordo com data de semeadura e adaptação a região. Todos os talhões amostrados seguem da seguinte sucessão de culturas: soja no verão e milho safrinha no inverno.

Quanto a adubação foi realizada conforme a extração para produtividade de 70 sacas por ha, conforme descrito no manual Cerrado de Souza e Lobato (2004), mantendo MAP (monoamônio phosphate) e formulados (04-30-10 e 02-24-12) e KCl como fonte de fósforo e potássio para a cultura, sendo que em todas as áreas o fósforo foi aplicado na linha com o uso de sulcador e a aplicação de potássio variou de 20 dias antes da semeadura a até 20 dias após a semeadura (devido ao teor de argila).

Em relação ao manejo de ervas daninhas foi realizada a dessecação das áreas pós semeadura da soja com glifosato e 2,4-D. Em pós emergência foi realizada uma pulverização com herbicida glifosato nas áreas de cultivo. Quanto a pragas, foi realizado o controle de percevejo (*Euschistus heros* e *Dichelops ssp.*) conforme a necessidade das áreas, não deixando ultrapassar um percevejo por ponto amostrado no controle de pragas. Para o manejo de doenças foram realizadas três aplicações de fungicidas de forma preventivamente.

2.3 Base de dados

As coletas de folha e pesagem da produtividade foram realizadas nas safras 2017/18 (80 talhões) e 2018/19 (70 talhões), a qual a amostragem de folha segue o padrão da cultura para coleta (terceiro trifólio completo, na haste principal no estágio reprodutivo R₂), como todas cultivares foram de crescimento indeterminado de 45 a 50 dias após emergência foi realizada a coleta das folhas (plantas apresentavam de 8 a 10 nós florados – estágio fenológico R₂), com 30 amostras de folhas por talhão coletadas em zigue-zague e mantendo o padrão (HANWAY et al., 1977).

Posteriormente, as folhas foram lavadas com água destilada e em seguida colocadas sobre papel absorvente. Após a lavagem passaram por processo de secagem em estufa com circulação forçada de ar, com temperatura variando em torno de 65 a 70° C por 72 horas. Foi então realizada a moagem em moinho de lâminas de aço inoxidável do tipo Willey com peneira de 20 mesh.

Foram realizadas as análises químicas das amostras foliares conforme Malavolta et al. (1997) a fim de determinar o teor dos macronutrientes e micronutrientes.

Quando a cultura atingiu o estágio fenológico de R8, ou seja, maturação fisiológica foi realizada a colheita mecânica dessas áreas e realizada a pesagem da produção total dos talhões com a correção da umidade para 13%.

2.3.1 Base de dados para gerar normas CND

A base de dados para o desenvolvimento das normas CND foi formada pelas concentrações de macronutrientes (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) nas folhas e produtividade de cada talhão. Foram realizadas transformações dos dados originais dos macronutrientes para mg kg^{-1} , a fim de padronizar as unidades.

2.4 Cálculo das normas CND

Conforme indicado por Parent e Dafir (1992), a composição do tecido vegetal forma uma disposição nutricional dimensional, isto é, um simplex (S^d) constituído por $d + 1$ proporções de nutrientes incluindo d nutrientes e um valor de enchimento definido como se segue:

$$S^d = [(N, P, K, \dots, R_d): N > 0, P > 0, K > 0, \dots: \\ R_d > 0, N + P + K \dots + R_d = 1.000.000]$$

em que 1.000.000 é a concentração de matéria seca (mg kg^{-1}); N, P, K, ... são proporções de nutrientes (mg kg^{-1}); e R_d é o valor de enchimento entre 1.000.000 e a soma de d proporções de nutrientes calculadas como se segue:

$$R^d = 1.000.000 - (N + P + K + \dots)$$

As proporções de nutrientes tornaram-se invariantes na escala depois de terem sido divididas pela média geométrica (G) dos componentes $d + 1$, incluindo R_d (AITCHISON, 1986) como se segue:

$$G = [N \times P \times K \dots \times R_d] \frac{1}{1+d}$$

A transformação pela relação logarítmica centrada (CND-clr), geram as variáveis multinutrientes $V_N, V_P, V_K, \dots, V_{R_d}$, que foram calculadas da seguinte forma:

$$V_N = \ln(N/G) \quad V_P = \ln(P/G) \quad V_K = \ln(K/G) \quad V_{R_d} = \ln(R_d/G)$$

e

$$V_N + V_P + V_K + \dots, V_{R_d} = 0$$

Esta operação é um controle para garantir que os cálculos das variáveis foram realizados corretamente. Por definição, a soma dos componentes teciduais é 1.000.000, e a soma das variáveis multinutrientes transformadas incluindo o valor de preenchimento deve ser zero.

2.5 Cálculo dos índices CND

Sendo, $V_N^*, V_P^*, V_K^*, \dots, V_{R_d}^*$ e $SD_N^*, SD_P^*, SD_K^*, \dots, SD_{R_d}^*$, as normas CND com médias e desvios padrões centrados de d nutrientes, respectivamente. Os Índices CND são as relações centradas de dados independentes e são padronizadas da seguinte forma:

$$I_N = \frac{V_N - V_N^*}{SD_N^*}, I_P = \frac{V_P - V_P^*}{SD_P^*}, I_K = \frac{V_K - V_K^*}{SD_K^*} \dots I_{R_d} = \frac{V_{R_d} - V_{R_d}^*}{SD_{R_d}^*}$$

Os índices CND, como definidos pela equação acima, são variáveis padronizadas e linearizadas com dimensões de um círculo ($d + 1 = 2$), uma esfera ($d + 1 = 3$), ou uma hipersfera ($d + 1 > 3$) em um espaço dimensional $d + 1$. O índice de desequilíbrio de nutrientes diagnosticado é o CND- r^2 e é calculado da seguinte forma:

$$\text{CND-}r^2 = I_N^2 + I_P^2 + I_K^2 + \dots + I_{R_d}^2$$

Cada dado composicional é assim caracterizado pelo seu raio, r , calculado. A soma de $d + 1$ produz uma nova variável com uma distribuição de qui-quadrado com $d + 1$ graus de liberdade (ROSS, 1987). Como os índices CND são independentes, os valores de CND- r^2 devem ter distribuição de qui-quadrado.

2.6. Cálculo da distância de Mahalanobis

Quanto ao cálculo da distância de Mahalanobis (M) por meio dos balanços ortogonais foi calculada como o índice de desequilíbrio de nutrientes da seguinte forma:

$$M = \sqrt{(x - \bar{x})^T COV^{-1}(x - \bar{x})}$$

onde, \bar{x} é o baricentro da população de referência, T é a matriz transposta e COV é a matriz de covariância da população de referência (PARENT et al., 2016).

2.7 Seleção de subpopulações

Para seleção das subpopulações é necessário se obter um critério para separar uma população em subpopulações de baixa e alta produtividade e que forneça um valor de corte mínimo entre as subpopulações. O método utilizado neste trabalho para a partição foi o Cate-Nelson definido por Nelson e Anderson (1977), para cada divisão da população total em subpopulações foi calculado o coeficiente de determinação de valor crítico (R^2) conforme segue:

$$R^2 = \frac{\left(\sum Y^2 \text{ pop total} - \frac{(\sum Y \text{ pop total})^2}{n_{\text{pop total}}} \right) - \left(\sum Y_A^2 - \frac{(\sum Y_A)^2}{n_A} \right) - \left(\sum Y_B^2 - \frac{(\sum Y_B)^2}{n_B} \right)}{\left(\sum Y^2 \text{ pop total} - \frac{(\sum Y \text{ pop total})^2}{n_{\text{pop total}}} \right)}$$

2.8 Cate-Nelson

Foi seguida metodologia apresentada por Parent et al. (2016), que consiste em comparar a distância de Mahalanobis calculada utilizando-as, após a seleção das subpopulações pelo método de Cate-Nelson com os dados de produtividade. Desta comparação o autor propõe a partição das amostras em VN (Verdadeiro Negativo), VP (Verdadeiro Positivo), FN (Falso Negativo) e FP (Falso Positivo). Os VN's foram classificados como amostras eficazes, ou seja, de alta produtividade e altamente equilibradas; os FN's (erro do tipo II) foram considerados como amostras de baixa produtividade, identificadas incorretamente como equilibradas; os FP's (erro do tipo I) compreenderam amostras de alta produtividade, classificadas incorretamente como equilibradas; os VP's corresponderam às amostras de baixa produtividade, classificadas

corretamente como desequilibradas. Todos esses procedimentos foram realizados para os três pares de folhas.

2.9 Teste de precisões

O teste de precisão da comparação descrita acima foi realizado segundo Parent et al. (2016) como é demonstrado a seguir:

- O Valor Preditivo Negativo (VPN) é a probabilidade de um diagnóstico equilibrado retornar a uma alta produtividade, calculado como $VN / (VN + FN)$. O Valor Preditivo Positivo (PPV) é a probabilidade de um diagnóstico de desequilíbrio retornar a uma baixa produtividade, calculado como $VP / (VP + FP)$.
- A Acurácia (Acc) é a probabilidade de uma observação ser corretamente identificada como equilibrada ou desequilibrada, calculada como $(VN + VP) / (VN + FN + VP + FP)$.
- A Especificidade é a probabilidade de uma observação de elevada produtividade ser equilibrada, calculada como $VN / (VN + FP)$.
- A Sensibilidade é a probabilidade de uma observação de baixa produtividade estar desequilibrada, calculada como $VP / (VP + FN)$.

2.10 Normas CND

As normas CND foram constituídas da média aritmética e o desvio padrão das variáveis multinutrientes na população de alta produtividade, conforme Parent e Dafir. (1992).

As variáveis multinutrientes consistiram dos valores logaritmizados dos quocientes entre a concentração de cada nutriente e a média geométrica dos teores dos constituintes da massa seca, e foram calculados da seguinte forma:

$$VA = \ln (A/G),$$

Sendo:

G = média geométrica dos teores dos constituintes da massa seca = $(A \times B \times \dots \times C \times R)^{1/n+1}$;

A, B, C = teores dos nutrientes avaliados (mg/kg);

R = complemento para 100% de massa seca = $1 \times 10^6 - (A + B + \dots + C)$.

n = número de nutrientes avaliados.

2.11 Análise de discriminante múltipla (ADM) e Característica de Operação do Receptor (ROC)

Esta etapa consistiu na seleção da variável dependente (categórica) e das variáveis explicativas (métricas). A ADM permitiu a análise das variáveis que mais se destacaram na discriminação de grupos, a partir de testes estatísticos, como o λ de Wilks, a correlação canônica e autovalores. Complementando a ADM, foi realizada a análise de Característica de Operação do Receptor (do inglês, 'Receiver Operating Characteristic' - ROC ou ROC curve), avaliando pela especificidade e sensibilidade, quais variáveis melhor discriminaram a relação binária de eficaz e ineficaz das amostras (JOHNSON e WICHERN, 2007; ŠIMUNDIĆ, 2009).

2.12 Análise de componentes principais (ACP)

Grandes variações nas concentrações absolutas dos nutrientes requerem que seja aplicada a Análise de componentes principais (ACP), o que auxilia a explicar as interações entre os nutrientes. A ACP reduz o número de variáveis originais interdependentes em menor número de componentes principais (CPs), os quais são combinações lineares de variáveis originais. Para isto, a ACP foi realizada a partir das normas CND e definida pelos quatro critérios de seleção da população. Para serem significativos, os CPs devem apresentar autovalores $> 100 / P$, onde P é o número total de variáveis originais sob diagnose (OVALLES e COLLINS, 1988). Alternativamente, CPs associados a autovalores < 1 são considerados não significativos. Para que os autovetores sejam considerados significativos, foi utilizado o critério definido por Ovalles e Collins (1988), sendo autovalores significativos aqueles que apresentam valores acima de critério de seleção que segue:

$$CS = 0,50 / (\text{autovalores CP})^{0,5}$$

2.13 Validação das normas

Após gerar as normas foi dividida em classes através da estatística, as produtividades após a remoção de outliers. Após essa separação de classes, foi realizada

a média de cada classe e o talhão com a produtividade mais próxima desse valor foi utilizado para validação.

2.14 Índice de potencial de resposta a adubação

Foi utilizado os índices desenvolvidos por Wadt (1996), para classificação quanto ao índice de potencial de resposta. As classificações representam:

- a) mais deficiente: a probabilidade de resposta ser positiva com a adição do nutriente inerente a este grupo é maior;
- b) deficiente: também ocorre probabilidade de resposta, todavia poderá ocorrer dependência da correção do nutriente com maior grau de deficiência (“mais deficiente”);
- c) suficiente: a expectativa de que haja resposta no fornecimento do determinado nutriente é baixa ou nula;
- d) propensão de excesso: a aplicação do nutriente poderá ocasionar resposta negativa da lavoura;
- e) excesso: situação de resposta negativa intrínseca a própria aplicação do nutriente.

Essa metodologia já foi utilizada, como exemplo, para interpretar o índice DRIS, na soja (CONRAD, 2016) e em cupuaqueiros (DIAS et al., 2011). No entanto, foi estendida aos índices CND provando ter igual eficiência apresentando resultados promissores, como encontrado em para cultura de algodão (SERRA et al., 2010) (Quadro 1).

QUADRO 1. Interpretação dos índices CND pelo critério do potencial de resposta à adubação, adaptado de Wadt (1996).

Estado nutricional	Critério de determinação	Potencial de resposta à adubação (PRA)
Mais eficiente	$IA < 0, IA > IBNm$ e, $IA =$ menor índice CND.	Positivo, com alta probabilidade (p)
Deficiente	$IA < 0$ e $ IA > IBNm$	Positivo, com baixa probabilidade (pz)
Suficiente	$ IA \leq IBNm$	Nulo (z)
Propensão de excesso	$IA > 0$ e $ IA > IBNm$	Negativo, com baixa probabilidade (nz)
Excesso	$IA > 0, IA > IBNm$ e, $IA =$ maior índice CND	Negativo, com uma alta probabilidade (n)

IBNm: índice de balanço nutricional médio.

2.15 Estatística

Sendo as estatísticas realizadas com o uso do software estatístico SPSS IBM versão 23, e os demais cálculos do CND, foram realizados com o uso da planilha EXCEL (2010) (MICROSOFT CORPORATION, 2013). Os gráficos foram gerados no SPSS.

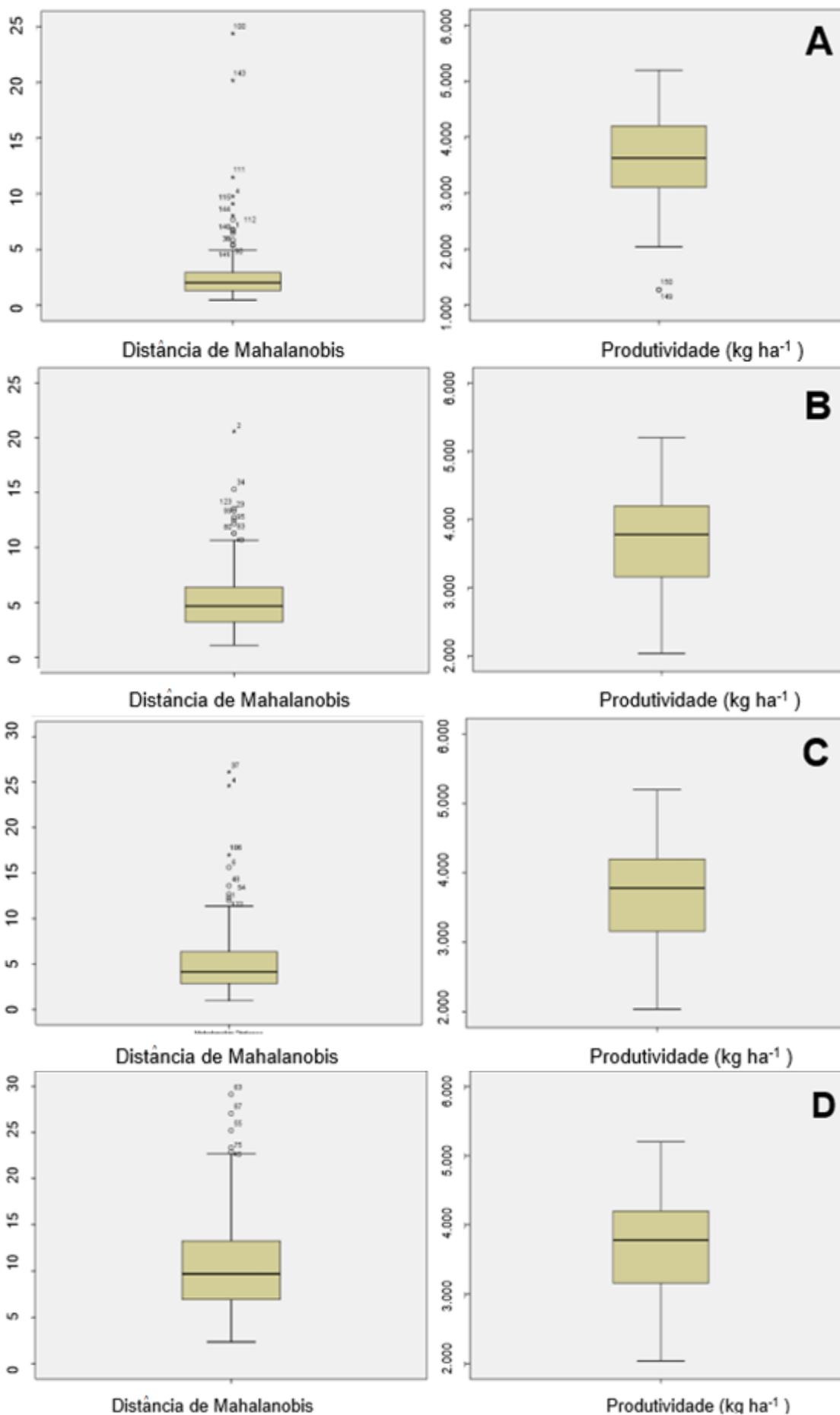
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Remoção dos *outliers* e teste de normalidade

Para realizar as normas CND-clr é necessária uma população de referência de alta produtividade que esteja em equilíbrio nutricional, para tal propósito foi realizada a remoção dos *outliers* (Figura 3). A identificação dos *outliers* pela distância de Mahalanobis e posterior remoção pelo *boxplot* resultou na redução do banco de dados, a qual se iniciou com 150 amostras (Figura 3). Após a remoção dos *outliers* o banco de dados passou a ter 113 amostras, as quais foram utilizadas para determinar a relação da produtividade com a distância de Mahalanobis e realizar a análise de Cate-Nelson para definição da população de referência para definição das normas CND-clr.

O uso da distância de Mahalanobis para identificação do *outliers* e definição da população de referência pelo método de Cate-Nelson proporcionou um refinamento do banco de dados. O uso dessa metodologia combinada já demonstrou previamente que o banco de dados torna mais robusto e com menos interferência de amostras com *outliers* e desequilibradas nutricionalmente (LABAIED et al., 2018).

Ressaltando assim a importância de que mesmo tendo um banco de dados com amostras coletadas na época indicada da cultura com os cuidados essenciais que a literatura nos descreve a fim de obter uma amostra real da área, é necessário realizar testes estatísticos para eliminar as amostras que não se encontram em equilíbrio nutricional.



... continua na próxima página

... continuação da página anterior

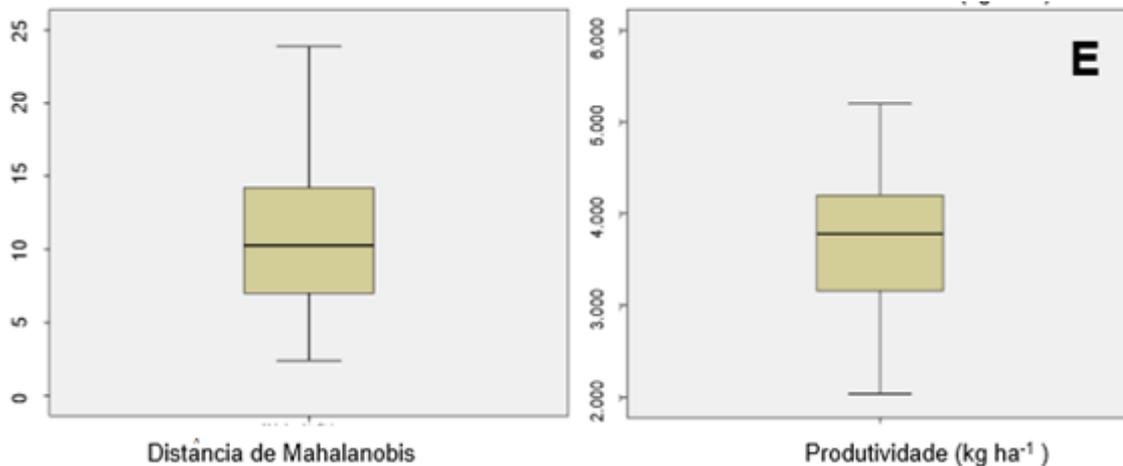


FIGURA 3. Identificação de *outliers* pela distância de Mahalanobis e remoção de *outliers*, na cultura da soja na região centro sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.

Após a remoção dos *outliers* foi gerada e analisada a curva do histograma, a fim de verificar a distribuição dos dados (Figura 4), que se apresentou normal tanto para produtividade quanto para a distância de Mahalanobis.

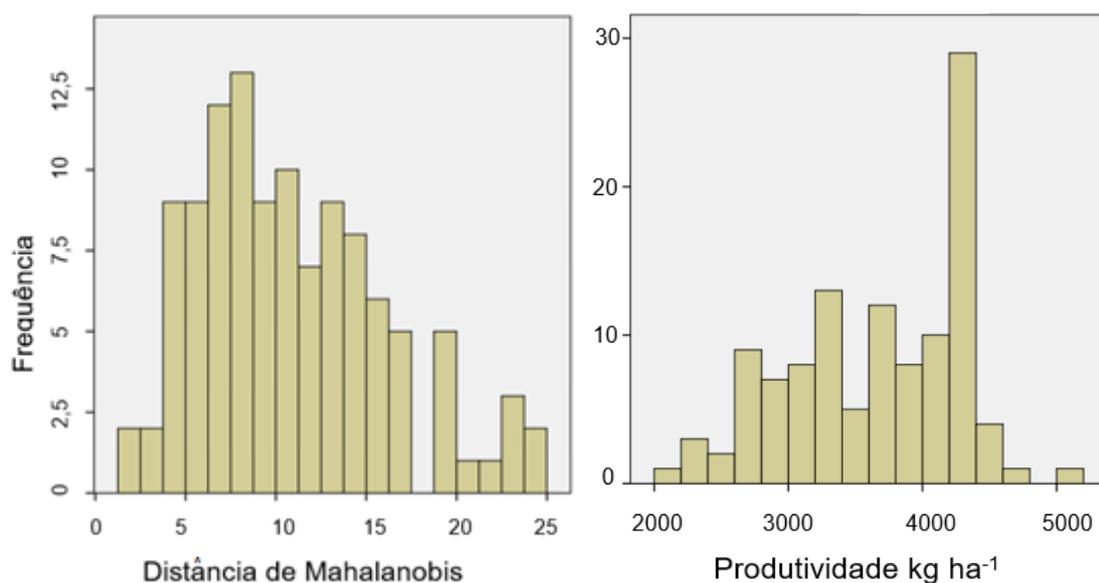


FIGURA 4. Histogramas com relação a distribuição normal dos teores foliares na distância de Mahalanobis e produtividade na cultura da soja, na região centro Sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.

4.2 Distância de Mahalanobis e Cate-Nelson

Foi realizada a relação da curva de Cate-Nelson com a distância de Mahalanobis e a produtividade, tendo como objetivo de realmente separar o que seria considerado uma população ideal em relação as demais (elevada produtividade com equilíbrio nutricional) (Figura 5).

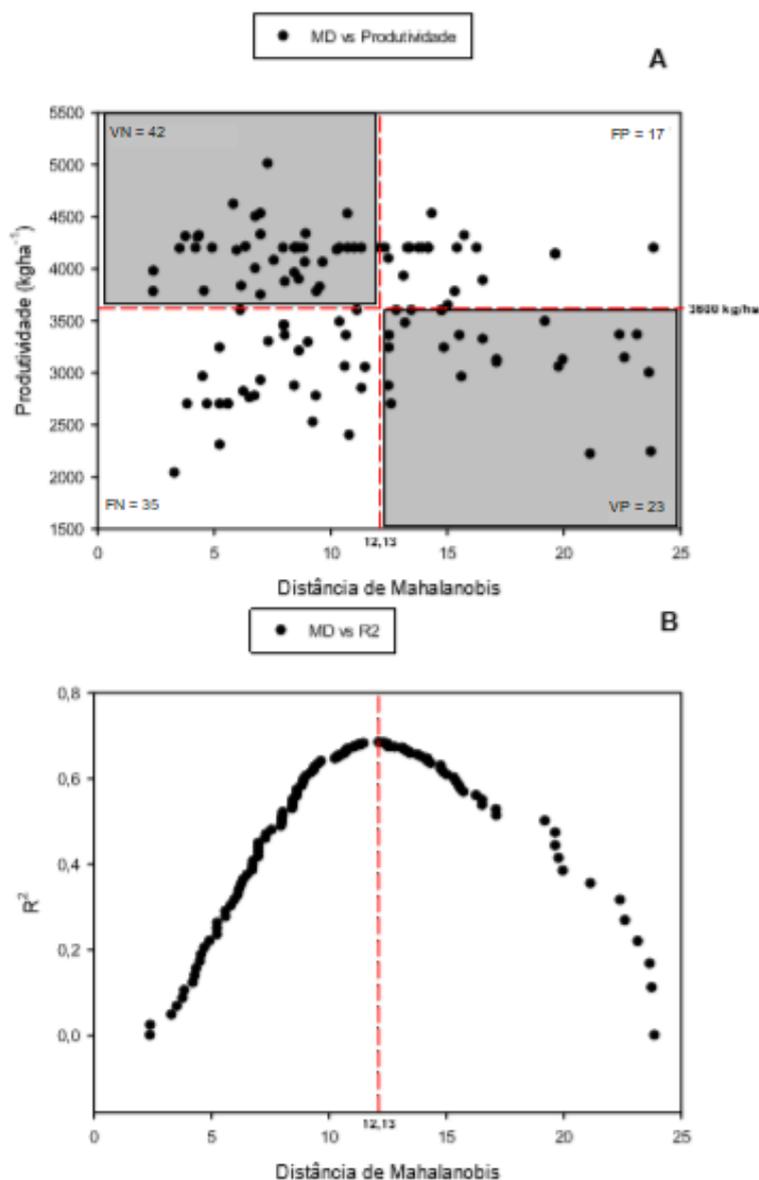


FIGURA 5. Partição de Cate-Nelson entre distância de Mahalanobis para variáveis multivariadas (CND-clr) e produtividade da cultura da soja, classificando indivíduos em quatro subpopulações; VN (verdadeiro negativo), FP (falso positivo), FN (falso negativo) e VP (verdadeiro positivo). UFGD, Dourados-MS, 2020.

Com o uso do método da partição de Cate-Nelson, as populações foram divididas em quatro partes, sendo classificadas como verdadeira negativo (VN), falso positivo (FP), falso negativo (FN) e verdadeiro positivo (VP).

A população que interessa para esse estudo, é a população VN, que no presente trabalho apresentou 42 amostras, ou seja, das 113 amostras onde ocorreu a remoção dos *outliers* apenas 42 delas apresentam uma elevada produtividade com equilíbrio nutricional, formando assim a população referência (Figura 4).

Dentre as amostras a produtividade variou entre 3.750 a 5.196 kg ha⁻¹, ocorrendo uma amplitude de 1.446 kg ha⁻¹. No Quadro 2, observa-se que através do teste de Skewness, os dados foram classificados como assimétricos, pois nenhum se encontrou no ponto de simetria variando de -0,590 a 4,22, tendo assim assimetria positiva e negativa. Fato este normal para dados composicionais, ocorrendo a assimetria em dados coletados a experimentos sem controle climático ou local.

A produtividade e os micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu e B) são os valores que apresentaram maiores desvio padrão e variância dentre as variáveis analisadas. Na análise e manejo desses micronutrientes, pequenas doses podem elevar seus teores a níveis de toxidez, o que nos indica que a relação desses micronutrientes no balanço nutricional tem elevada importância, pois afetam o equilíbrio nutricional.

QUADRO 2. Estatística descritiva da população de alta produtividade da cultura da soja na região centro sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.

Variáveis	Amplitude	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Variância	Skewness	Significância
Produtividade	1260,00	3750,00	5010,00	250,126	62563,315	0,772	0,365
N	17,90	41,50	59,40	4,277	18,299	0,231	0,365
P	2,50	2,10	4,60	0,488	0,239	-0,012	0,365
K	12,00	11,80	23,80	2,315	5,361	-0,590	0,365
Ca	6,00	4,10	10,10	1,727	2,984	0,695	0,365
Mg	1,70	1,50	3,20	0,459	0,211	0,404	0,365
S	1,70	1,90	3,60	0,393	0,155	0,419	0,365
Fe	249,10	95,40	344,50	47,301	2237,402	0,643	0,365
Mn	183,20	26,50	209,70	41,424	1716,000	1,398	0,365
Zn	23,90	21,80	45,70	6,101	37,230	1,056	0,365
Cu	85,40	4,80	90,20	16,825	283,105	4,211	0,365
B	36,10	27,80	63,90	6,666	44,436	-0,073	0,365

Analisando esses resultados, juntamente com o manejo das áreas e condições climáticas pode-se concluir que houve outros fatores como manejo da cultura e clima que acabaram interferindo nos resultados classificados como FN.

Trabalhos realizados por Parent et al. (2009) e Kadri (2017), também conseguiram encontrar esse método como boa forma de separar as populações referências de alta produtividade com equilíbrio nutricional das demais.

Essa metodologia também consegue identificar que embora os talhões em FN estejam em equilíbrio nutricional por algum outro fator não alcançou elevadas produções (Figura 4), permitindo assim um número de indivíduos realmente qualificados a serem considerados como população de referência de alta produtividade.

No Quadro 3, o valor preditivo negativo (VPN) e sensibilidade identificam potencial deficiência de nutrientes e outros fatores que podem limitar o crescimento da planta. O valor preditivo positivo (VPP) identifica eventuais problemas de nutrição ligados ao consumo de luxo ou contaminações. A acurácia é a probabilidade de uma observação ser corretamente identificada como equilibrada ou desequilibrada, ocasionado por maiores populações VN e VP em relação a população total. Segundo Parent et al. (2016), valores acima de 0,5 são considerados bons.

Sendo assim, essa análise comprova a importância da exclusão dos *outliers* a fim de obter uma população referência ideal, pois após o processo de remoção dos *outliers* o VPN, VPP e a acurácia ficaram acima de 0,5.

QUADRO 3. Teste de diagnóstico, segundo Parent et al. (2016), para seleção de populações de referência. UFGD, Dourados-MS, 2020.

VPN	VPP	Acurácia	Especificidade	Sensibilidade
0,545	0,575	0,555	0,712	0,397

VPN = Valor Preditivo Negativo; VPP = Valor Preditivo Positivo.

4.3 Normas CND-clr

Após a definição das subpopulações foram geradas normas CND-clr das variáveis multinutrientes relacionadas a subpopulação eficaz (VN) para o *Simplex* as quais são apresentadas no Quadro 4, seguidas das médias e desvios padrão. Com base na análise prévia realizada para remoção dos *outliers* e teste de sensibilidade, restou no banco de dados 42 amostras para definição das normas CND-clr. Embora o número de dados apresente relativamente pequeno, é possível constatar que o ponto mais relevante seria a qualidade dos dados para o desenvolvimento dessas normas. As normas CND-clr precisam ser constantemente atualizadas para seu refinamento e melhoria de sua acurácia, assim,

ao longo dos anos é possível aumentar a precisão das diagnoses realizadas por essas normas CND-clr.

QUADRO 4. Normas CND-clr da soja no centro sul do Mato Grosso do Sul com uma população de alta produtividade e equilíbrio nutricional. UFGD, Dourados-MS, 2020.

CND-clr	MÉDIA	DP
N	3,72757	0,31151
P	0,99063	1,19586
K	2,75607	0,91754
Ca	1,59247	1,45622
Mg	0,55813	0,90856
S	0,71411	1,24633
Fe	-1,88763	3,35512
Mn	-3,06903	10,60404
Zn	-3,78695	0,87083
Cu	-5,18319	13,81704
B	-3,27248	1,514724
Rd	6,63823	0,337282

4.4 Análise discriminante múltipla (ADM)

Após a geração das normas CND-clr, foi realizada a análise discriminante múltipla (ADM), que foi realizada a afim de testar a significância das variáveis quando a capacidade de distinção dos grupos. A existência da diferença de médias entre os grupos para cada dado analisado, é realizada através do Lâmbda de Wilks, que varia de 0 a 1, sendo que valores elevados indicam ausência de diferenças entre os grupos.

Ao analisar os valores obtidos na análise de Lâmbda de Wilks, verificou-se que as variáveis CND r^2 e a distância de Mahalanobis obtiveram os maiores valores, obtendo assim maior capacidade de distinguir os grupos do que a produtividade, apresentando a variável CND r^2 maior rigorosidade em separar essas populações. Em relação ao teste F, apontou que existe pelo menos um grupo em que as médias são diferentes, pois houve significância à 1% nas três variáveis (produtividade, distância de Mahalanobis e CND r^2); constatando assim que o CND r^2 obteve menor diferença entre as médias, como pode ser observado no Quadro 5.

QUADRO 5. Teste de igualdade de médias de grupos, aplicado na análise discriminante múltipla (ADM) na cultura da soja no centro sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.

Variáveis de teste	Lâmbda de Wilks	F	Significância**
Produtividade	0,278	123,442	0,000**
Distância de Mahalanobis	0,557	37,703	0,000**
CND r^2	0,990	0,473	0,625**

** significativos a 1% de probabilidade assintótica

Com a associação de grupos prevista pôde-se identificar uma nova variável de classificação baseada na previsão do modelo com resultados dos grupos preditos.

Com a utilização da representação gráfica do diagrama de dispersão é mais didática para verificar se há eficiência ou não na capacidade de distinção dos grupos. Sendo assim como pode ser observado na Figura 6, apresenta a expressiva distância entre os centroides dos grupos, indicando assim uma otimização das funções discriminantes, obtendo elevada precisão para distinguir os grupos de produtividade, validando o que foi analisado através do Lâmbda de Wilks e o teste de significância F.

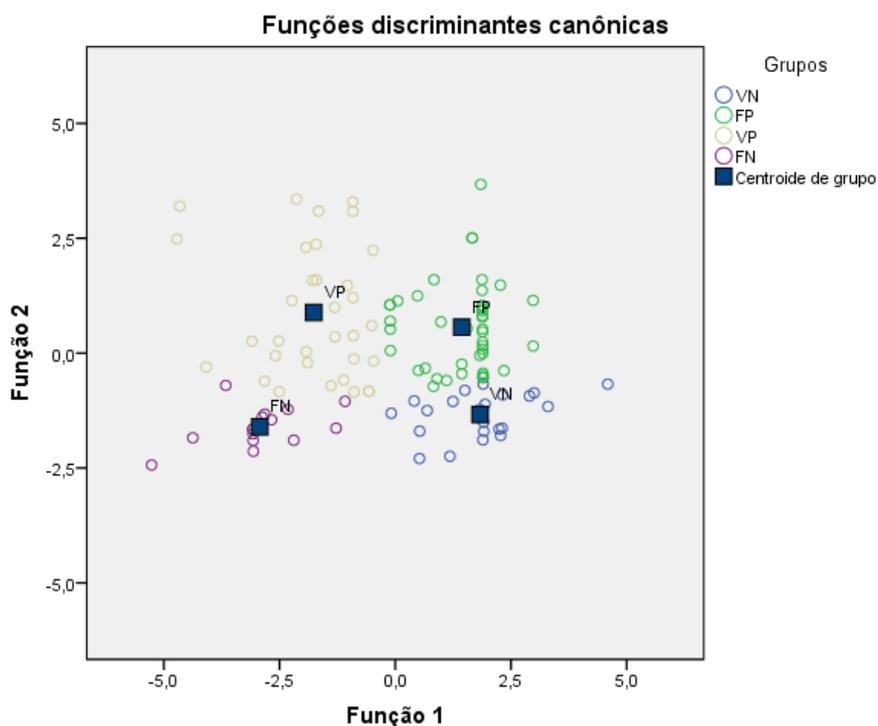


FIGURA 6. Análise discriminante múltipla (ADM), dos grupos de classificação mediante uso da distância de Mahalanobis, produtividade e CND r^2 , verificando a distinção entre os grupos classificados como VN (verdadeiro negativo), FP (falso positivo), FN (falso negativo) e VP (verdadeiro positivo) na cultura da soja na região centro sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.

4.5 Análise da característica de operação do receptor (curva ROC)

Conseguindo diferenciar bem os grupos, foi aplicada uma análise de mais rigorosa já utilizada por Parent et al., (2013 a), denominada análise da característica de operação do receptor (curva ROC), que tem como objetivo descrever quantitativamente o desempenho de um teste diagnóstico. O Quadro 6 apresenta os resultados da análise ROC.

QUADRO 6. Análise da característica de operação do receptor (curva ROC) em relação a produtividade e distância de Mahalanobis. UFGD, Dourados-MS, 2020.

Variáveis de teste	Área sob a curva	Intervalo de confiança (95%)	Significância
Produtividade	0,885	0,824-0,946	0,000**
Distância de Mahalanobis	0,781	0,698-0,864	0,000**

** significativos a 1% de probabilidade assintótica

As variáveis produtividade e distância de Mahalanobis foram testadas a fim de testar sua capacidade em distinguir as amostras em uma relação binária, na qual uma classe foi determinada como eficaz (VN), denominada como 1, e as demais classes como ineficazes (VP, FN e FP), denominada como 0.

O desempenho do teste é medido através da forma da curva e área sob a curva ROC. Segundo Martinez et al. (2003) e Webb & Ting (2005) quando maior a capacidade de distinguir as amostras segundo a relação binária, mais a curva se aproxima da parte superior esquerda do gráfico, tendo uma área maior sob a curva que é limitada pela reta que divide o gráfico. Como pode ser observado na Figura 7.

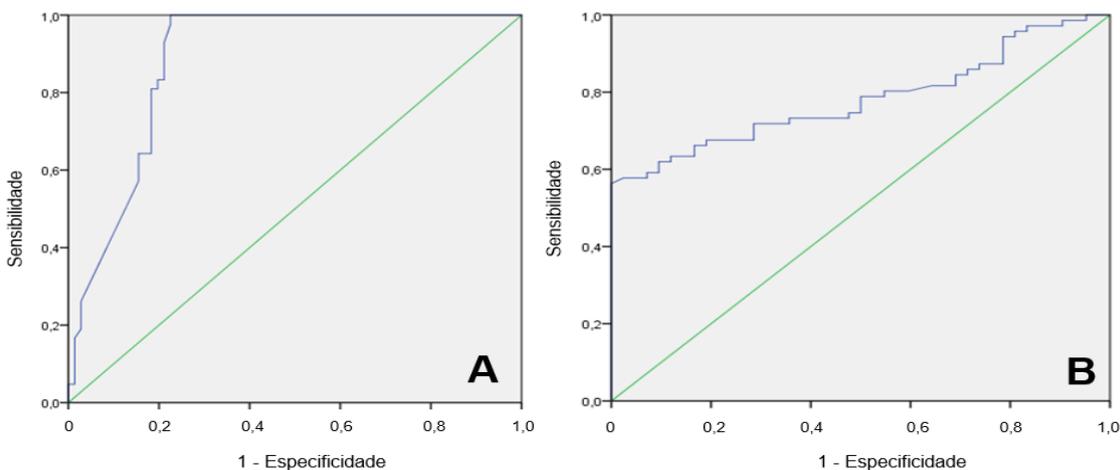


FIGURA 7. Análise da característica de operação do receptor (curva ROC) com relação a produtividade (A) e distância de Mahalanobis (B) na cultura da soja na região centro Sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.

Tanto a produtividade quanto a distância de Mahalanobis foram eficazes na separação da população através dos grupos gerados pelo sistema de Cate-Nelson, pois ambas apresentaram uma área sob a curva entre 0 e 1, que segundo Raslich et. (2007), resultam em uma análise discriminatória quando se apresenta dentro dessa faixa de valores. Porém a produtividade possui uma maior rigurosidade na seleção de grupo, pois obteve uma área de curva superior à distância de Mahalanobis, na qual dentro do sistema de classificação indicado por Simundic (2009), valores entre 0,8 e 0,9 são classificados como ‘muito bons’, como é o caso de produtividade e valores de 0,7 e 0,8 são classificados como ‘bons’.

4.6 Análise de componente principal (ACP)

Como já observado por Parent e Dafir (1992), utilizou-se as relações variáveis multinutrientes (CND-clr) que são compatíveis para realização dessa análise de componente principal (ACP), utilizando os dados da subpopulação eficaz para gerar o Quadro 7.

QUADRO 7. Autovalores da análise dos componentes principais (ACP) calculados numa população de soja de alta produtividade. UFGD, Dourados-MS, 2020.

Componentes principais	Variância explicada (%)	Variância Acumulada (%)
1	47,80	47,80
2	38,05	85,85
3	4,65	90,50

Como pode ser observado no Quadro 6, os componentes principais 1 e 2 estão mais presentes na variância explicada, sendo assim esses componentes são utilizados para realizar a ACP (Quadro 8).

QUADRO 8. Matriz de componente rotativa gerada pela análise de componente principal (ACP) pelas normas CND (V_x^*) e componente principal. UFGD, Dourados-MS, 2020.

	Matriz de componente rotativa			
	Componente original		Componente reescalonado	
	1	2	1	2
N	0,007	0,058	0,078	0,666
P	0,118	0,090	0,694	0,528
K	0,061	0,109	0,408	0,727
Ca	-0,148	-0,037	-0,787	-0,197
Mg	-0,090	0,013	-0,606	0,090
S	0,087	0,085	0,496	0,488
Fe	0,160	0,185	0,559	0,647
Mn	-0,496	-0,057	-0,975	-0,111
Zn	-0,096	-0,011	-0,659	-0,077
Cu	0,240	-0,528	0,413	-0,909
B	0,115	0,052	0,600	0,272

Em relação ao reconhecimento das interações entre as normas CND e os componentes principais é possível observar que os dois critérios de seleção geraram padrões distintos da interação, o que deixa claro que os critérios de seleção alteram os padrões de interação (Figura 8).

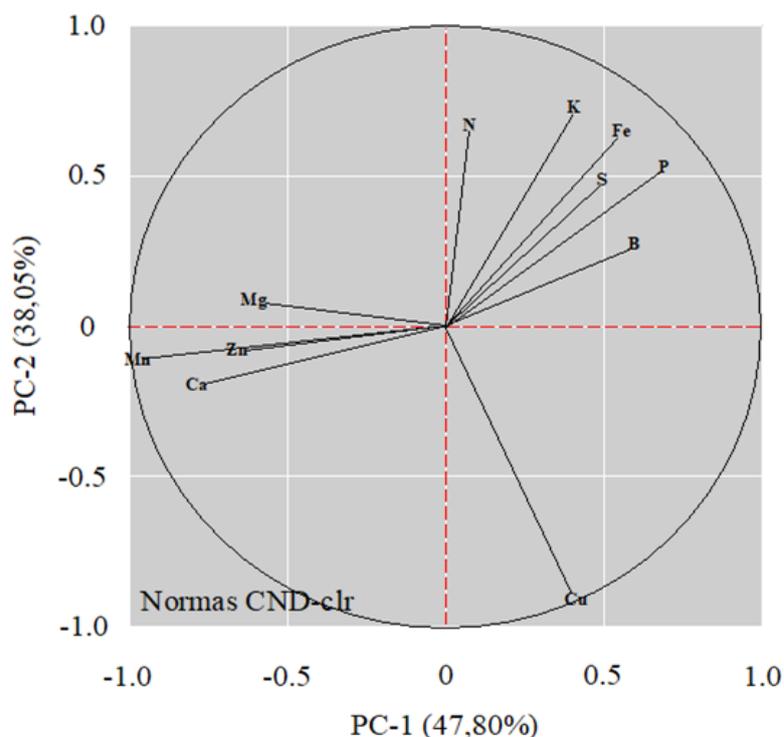


FIGURA 8. Análise gráfica da distribuição dos componentes principais para as normas CND-clr (relação logarítmica centrada) na população de alta produtividade selecionada na cultura da soja na região centro sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.

Observa-se que quanto menor o ângulo entre a variável e o eixo CP, maior é a importância desse elemento na explicação de sua variabilidade. Sendo assim, nesse caso o manganês (Mn), é a variável principal para explicar o CP1, e o nitrogênio (N) é a variável principal para explicar o CP2.

O CP1 obteve relação positiva com nitrogênio (N), potássio (K), ferro (Fe), enxofre (S), fósforo (P), boro (B) e cobre (Cu) e relação negativa com magnésio (Mg), zinco (Zn), Mn e cálcio (Ca). Já o CP2 obteve relação positiva com Mg, N, K, Fe, S P e B, e relação negativa com Zn, Mn, Ca e Cu. Essas diferenças entre os componentes principais estão relacionadas com a forma de interação dos nutrientes avaliados, demonstrando mais uma vez que para realizar uma correta diagnose deve-se ter uma criteriosa seleção de dados.

A relação de interação que o Ca e Mg pode apresentar negativa devido a sua interação com o K, que também inibe o Mn. Como não há excesso de Ca no solo, o teor de P absorvido não é afetado. Segundo Vitti e Trevisan (2000) e Maathuis (2009), há uma estreita relação de sinergismo entre N e K, ou seja, quando há a absorção de um desses elementos o outro tende a ser absorvido com maior facilidade; esse efeito de íon acompanhante dado pelo N depende da fonte disponível no solo, pois se for $N-NH_4^+$, este tem grande influência na difusão do potássio, diminuindo a concentração de absorção desse nutriente, que também inibe a absorção de Mg. Outro fato que inibe a absorção de Mg é quando a concentração de N e P não estão em equilíbrio o que aumenta ainda mais a absorção de K e por sua vez inibe a absorção de Mg (ARAÚJO, 2018).

A interação Zn x P é apresentada na literatura como antagônica (OLSEN, 1972). Dessa forma, em razão dos solos brasileiros serem naturalmente pobres em Zn (REIS Jr. e MARTINEZ, 2002) e o P, considerado como o segundo nutriente que mais limita a produtividade em solos tropicais (SALCEDO, 2006), normalmente são utilizadas doses elevadas de P (800 – 1000 kg de P_2O_5) nas lavouras comerciais (FELTRIM et al., 2016).

A deficiência de Ca pode ser associada ao excesso de K, haja vista a importância do efeito antagônico que ocorre entre este e o Ca. Embora o Ca seja dominante do complexo de troca compara ao K, (OLIVEIRA et al., 2001), essa ordem de dominância pode ser invertida quando altas doses de K são administradas.

Prado (2012), ressalta que a interação N-Zn está estritamente relacionada com a fonte, sendo positiva quando $N-NH_4^+$ e negativa enquanto NO_3^- . A interação negativa entre P e Mn correlacionada indica altas concentrações de P, acarretando na diminuição das de Mn. A relação positiva N-S, encontrada pois deve-se buscar ter a disponibilidade de S no solo em equilíbrio com N, uma vez que este nutriente é fundamental na fisiologia da planta.

Como a estrutura do material analisado, no caso a amostra foliar da cultura, é composto por diversos elementos e a interação entre eles é de grande importância, concretiza a idéia de Parent e Dafir (1992), na qual diz que um nutriente não deve ser analisado isoladamente e sim com suas inúmeras interações para poder realizar uma correta diagnose nutricional.

Trabalhos realizados por Parent et al., (2013 b), constatou que a interação de nutrientes interfere de maneira significativa em sua disponibilidade, porém para afirmar doses a serem trabalhadas é necessário que haja um trabalho para cada espécie com diferentes doses desses nutrientes a fim de encontrar o equilíbrio nutricional.

Conforme foi constatado pelos testes: teste de diagnóstico, teste de igualdade de média dos grupos, análise discriminante múltipla (ADM) e a análise da curva de operação (curva ROC), a população selecionada como referência pode ser utilizada com a certeza que as amostras que não estavam em equilíbrio nutricional relacionado a produtividade foram removidas, obtendo assim uma população de referência rigorosa.

4.7 Balanço nutricional

Após realizar os índices CND-clr para a média de cada classe calculada, desenvolveu-se a relação do balanço nutricional comparadas as normas CND-clr desenvolvidas para a região. Podendo assim interpretar a relação de nutrientes em cada talhão analisado através dos teores foliares (Figura 9).

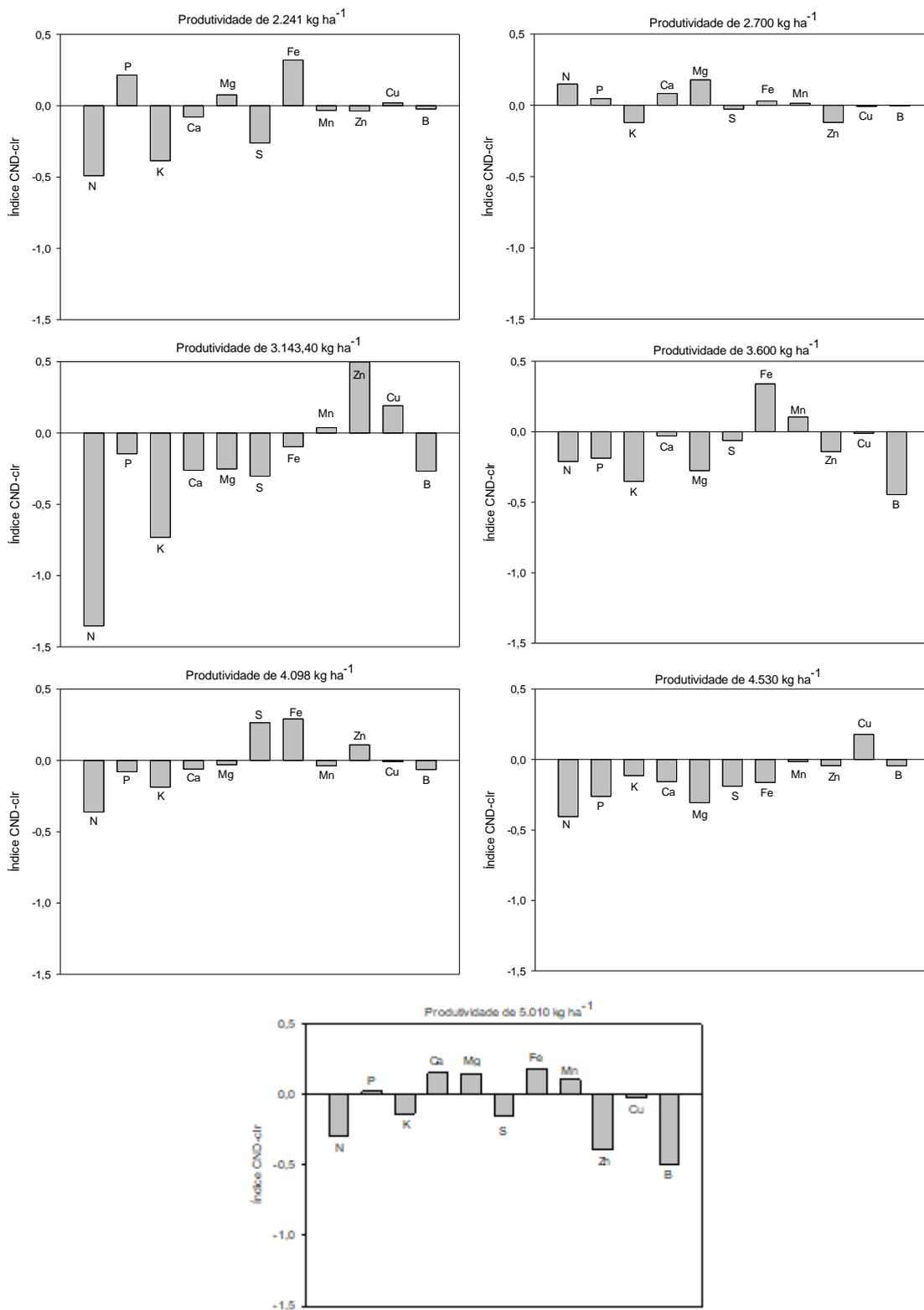


FIGURA 9. Índices CND-clr em diferentes produtividades de soja na região Sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.

Conforme a visualização, para interpretação é utilizado valor negativo como falta e positivo como excesso, sendo essa a resposta da interação entre os nutrientes na planta.

Esses índices CND calculados servem para demonstrar o comportamento de um nutriente em determinado talhão, sendo assim se o índice está negativo indica que há limitação em sua concentração no tecido foliar ou inibição competitiva, e se está positivo ele está acima da concentração ideal interferindo na absorção dos demais nutrientes. Fato este que pode ser explicado no ACP, onde também mostra a interferência que um elemento influencia em outro, pois todos estão na planta e necessitam ser avaliados ao mesmo tempo a fim de detectar essa relação entre eles (PARENT et al., 2012).

Em produtividades inferiores (2.241 a 3.143 kg ha⁻¹) há desequilíbrio nutricional maior do que comparada as demais amostras, mostrando assim necessidade de equilíbrio nutricional a fim de obter boas produtividades.

Outro fator importante a ser considerado é a importância que o balanço dos micronutrientes possuem em produtividades mais elevadas, sendo que quanto maior a produtividade maior é o ajuste necessário desses micronutrientes em relação aos macronutrientes.

Conforme no anexo 2 é observado as cultivares, análise de solo e adubação utilizadas nesses talhões, conforme na validação das normas.

Após confrontar os dados calculados nos índices CND com as análises de solos podemos diagnosticar que a menor produtividade analisada se encontrava numa área de menor saturação de bases (V%), sendo esta analisado em 48% pela amostra de solo. A produtividade de 4.098 kg ha⁻¹ apresenta o maior V%, com um teor de argila de 62%, porém não atingiu a maior produtividade devido a um pequeno desequilíbrio nutricional além de possuir o maior teor de Al das amostras testadas no experimento, o que ocasiona um menor crescimento de raiz, pois o Al tem a capacidade de necrosar as pontas de crescimento da raiz evitando seu aprofundamento no solo em busca por água (ECHART e MOLINA, 2001).

A área de 5.010 kg ha⁻¹, também apresenta elevado teor de Al no solo, porém quando não ocorreu a falta de chuva é alcançada elevadas produtividades mesmo com excesso desse elemento (PRADO, 2008).

4.8 Potencial de resposta a adubação

Assim ao analisar as sete classes e produtividades que foram separadas dentro da população de referência (produtividade relacionada com equilíbrio nutricional), conclui-

se que não é apenas a parte nutricional que influencia em sua produtividade, mas sim o sistema de plantio no geral, pois o clima, manejo, cultivar, época de semeadura também possuem interferência na absorção dos nutrientes pela planta. Necessitando assim o cuidado do sistema como um todo, e tendo o uso do CND-clr como base para problemas nutricionais, não garantindo a planta com equilíbrio nutricional uma elevada produtividade, mas sim um maior potencial produtivo.

Realizou-se o potencial de resposta a adubação das amostras dos talhões subdivididos em seis classes de produtividade, de acordo com a estatística, gerando a Figura 10, a qual mostra em porcentagem de talhões quais nutrientes responderiam em maior produtividade se aplicados na cultura, e quais não se aplicados não interferem na produtividade.

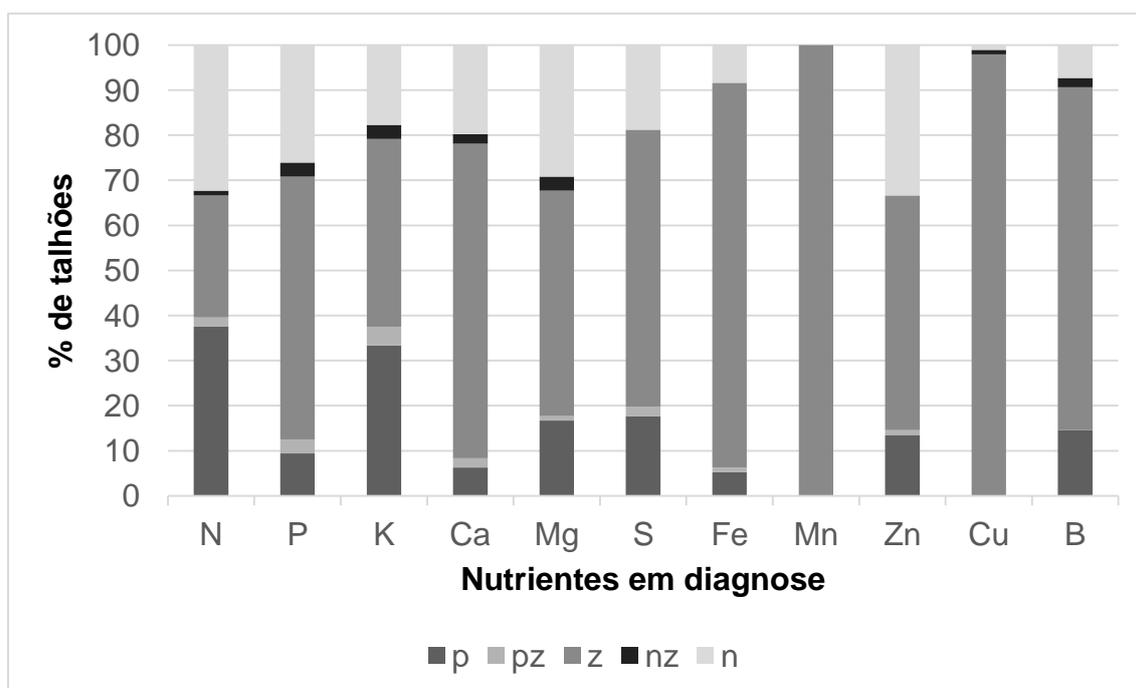


FIGURA 10. Potencial de resposta dos critérios em porcentagem, baseado nas normas CND-clr criadas para as populações de alta referência. (p = positiva; pz = positiva ou nula; z = nula; nz = negativa ou nula; n = negativa), na cultura da soja no centro Sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.

Segundo a classificação de Wadt (1996), os nutrientes que possuem maior deficiência nas amostras analisadas são respectivamente: N, K, S, Mg, Zn, B, P, Ca e Fe.

Sendo que Mn e Cu não apresentaram deficiência. A utilização desses elementos tende a obter resultado positivo na produtividade.

O N, K, S, Mg e Zn são os que mais apresentam resposta positiva em produtividade se elevar sua dose no uso nessas áreas. Mn, Cu e Fe são considerados com resposta nula na produtividade de utilizados nos talhões analisados, fato este por se encontrarem disponíveis já dentro do teor que necessitam.

O índice de potencial de resposta dos nutrientes auxilia na tomada de decisão sobre qual elemento aumentar na adubação e qual poderia ser reduzido, a fim de evitar o consumo de luxo da planta, e assim conseguir realizar uma adubação dentro do que ela realmente necessita melhorando o investimento financeiro e assim também tendo um retorno produtivo melhor. Porém, não é dada a dose necessária que deve ser aplicada.

O fato do nitrogênio possuir grande potencial de resposta é devido ao sistema de cultivo que são utilizadas nessas áreas, ou seja a sucessão de culturas de soja com milho. Essa relação já vem sendo comprovada que acaba 'limitando' o N disponível no solo para a planta, pois devido a elevados custos da adubação nitrogenada, e por ser uma segunda safra onde procura-se um menor investimento essa adubação é reduzida, o que faz com que a cultura do milho utiliza parte do N que está no solo (ZOTARELLI, 2000; MANCIN et al., 2009).

Assim como já foi comprovado por diversas pesquisas (DONEGA e SANTOS, 2015; PILETTI, 2016), o uso de *Bradyrhizobium ssp.* fornece a dose necessária de N para a cultura da soja, não sendo necessário a aplicação de fontes minerais desse nutriente. Porém, um melhor manejo de culturas com rotação de culturas poderia melhorar essa condição, e provavelmente diminuir o problema de limitação do N.

4. CONCLUSÃO

O uso da distância de Mahalanobis e Cate-Nelson torna o processo de seleção da população de referência mais rigoroso com a exclusão de *outliers* tornando o banco de dados mais eficaz para o desenvolvimento das normas CND-clr.

Por meio da análise do potencial de resposta a adubação foi diagnosticado que os elementos que possuem maior deficiência e assim responderiam a adubação retornando em maior produtividade nas amostras analisadas são respectivamente: N, K, S, Mg, Zn, B, P, Ca e Fe.

O nitrogênio é o nutriente que apresentou maior frequência como deficiente nos talhões analisados, com base no histórico da área, conclui-se que essa deficiência não é devido à falta desse nutriente de forma mineral, mas sim melhorar o manejo de culturas utilizadas a fim de melhorar a disponibilidade desse nutriente de forma orgânica.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITCHISON, J. Statistical analysis of compositional data. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 44, n. 2, p. 139-177, 1986.

ANAESTHETIST, “**Receiver Operating Curves: An Introduction**”, Disponível em: <<http://www.anaesthetist.com/mnm/stats/roc/Findex.htm>> Acesso em: 20 abril 2020.

ANJANEYULU, K.; RAGHUPATHI, H. B.; CHANDRAPRAKASH, M. K. Compositional nutriente diagnosis norms (CND) for guava (*Psidium guajava* L.). **Journal Horticultural Science**. v. 3, n. 2, p. 132-135, 2008.

APROSOJA. Disponível em: <https://aprosojabrasil.com.br/a-soja/economia>. Acesso em: 15 dez. 2019.

ARAUJO, W. A.; **Acúmulo de matéria seca e marcha de absorção de nutrientes em soja de crescimento determinado e indeterminado**, 2018, p. 50. Dissertação (Mestrado em produção vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados.

ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; SOUZA, A. R. L.; SILVA, L. X. Gestão de custos na produção de milho e soja. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, v. 20, n. 2, p. 273-294. 2018.

BALDOCK, J. O.; SCHULTE, E. E. Plant analysis standardized score combines DRIS and sufficient range approaches for corn. **Agronomy Journal, Madison**, v. 88, p. 448-456, 1996.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 48p. (Boletim técnico, 78).

BEAUFILS, E.R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). A general scheme of experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition**. South Africa: University of Natal, Pietermaritzburg, p. 132, 1973.

BEVERLY, R. B.; HALLMALK, W. B. **Prescient diagnostic analysis: a proposed new approach to evaluating plant nutrient diagnostic methods**. Communications in Soil Science & Plant Analysis, v. 23, p. 2.633-2.640, 1992.

BORLACHENCO, N. G. C.; GONÇALVES, A. B. **Expansão agrícola: elaboração de indicadores de sustentabilidade nas cadeias produtivas de Mato Grosso do Sul**. Interações, v. 18, n. 1, p. 119-128. 2017.

BRANDT, E. A.; SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T.; MARCHETTI, M. E. Desempenho agrônômico de soja em função da sucessão de culturas em sistema plantio direto. **Ciência Agrotec.**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 869-874, 2006.

CAVALINI, P. F.; SEVILHA, A.; CRUZ, R. M. S. da; ALBERTON, O. Resposta da soja a épocas de aplicação de potássio em cobertura. **Arq. Ciênc. Vet. Zool.** UNIPAR, Umuarama, v. 21, n. 1, p. 23-28, 2018.

CEMTEC/MS – **Centro de monitoramento de clima do Mato Grosso do Sul.** Disponível em: <http://www.cemtec.ms.gov.br/boletins-meteorologicos/>. Acessado em: 20 de março de 2020.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento.** Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos>. Acesso em 10 abril 2020.

CONRAD, V. A. do; **Desenvolvimento e validação de normas DRIS para a cultura da soja no estado de Mato Grosso do Sul, dissertação de mestrado,** 2016, p. 64. Dissertação (Mestrado em produção vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados.

DELGADO, R. T. ; VON EYNATTEN, H.; KNIPPNER, A.; MEINHOLD, G. (2018) A multivariate discrimination scheme of detrital garnet chemistry for use in sedimentary provenance analysis, **Sedimentary Geology** (online first) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2017.11.003>.

DIAS, J. R. M.; WADT, P. G. S.; FOLLE, F. A.; SOLINO, A. J. da S.; DELARMELINDA; TABELLA, L. B. Potencial de resposta à adubação para N, P, K, Ca e Mg em cupuaçueiros avaliados por diferentes normas DRIS . **Acta Amazonica**, v. 41, n. 1, p. 77-82, 2011.

DONEGA, A.J.; SANTOS, E.L. Produtividade de soja em função da cultura antecessora e do manejo do solo. **Revista Cultivando o Saber**, v. 8, n. 1, p. 76-87, 2015.

ECHART, C. L.; MOLINA, S. C. Aluminum phytotoxicity: effects, tolerance mechanisms and its genetic control; **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.3, p.531-541, 2001.

EGOZCUE J.J.; PAWLOWSKY V. G.; FIGUERAS M. G; BARCELÓ, C.V. Isometric log-ratio transformations for compositional data analysis. **Mathematical Geology** v.35, n. 3, p. 279-300, 2003.

FAGERIA, N. K.; KNUPP, A. M. Upland rice phenology and nutrient uptake in tropical climate. **Journal of Plant Nutrition**, v. 36, n. 1, p. 1-14, 2013.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas.** Lavras: UF LA/F AEPE, 1997. 227 p.

FAQUIN, V.; **Diagnose do estado nutricional das plantas,** Lavras: UFLA/FAEPE, 2002, p.77.

FELTRIM, A. L.; WAMSER, A. F.; SUZUKI, A.; MÜELLER, S.; BECKER, W. F.; HAHN, L. Fontes de nitrogênio e potássio aplicados via fertirrigação na cultura do tomate. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 29, n. 2, p. 63-67, 2016.

FERREIRA, W. S.; BRAZ, A. J. B. P.; ASSIS, R. L.; COSTA, K. A. P.; SILVA, A., G.; TORRES, J. L. R. Cultivo do milho e da soja em sucessão as culturas de safrinha em Rio Verde- GO. **Energ. Agric.**, Botucatu, vol. 31, n.3, p.291-297, 2016.

HANWAY, J.J.; THOMPSON, H.E.; BENSON, G.O. **How a soybean plant develops. Special Report** nº 53. Iowa State University of Science and Technology Cooperative Extension Service. Ames, Iowa.1977.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 48 p. (Circular Técnica, 35).

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática- SIDRA. **Produção agrícola municipal: tabela 1612 – área plantada, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1612>. Acesso em: 23 abril 2020.

IFAG – **Instituto para o fortalecimento da agropecuária de Goiás**. Disponível em: <http://ifag.org.br/custos-de-producao>. Acesso em: 10 jan. 2020.

JESUS, M. V.; **Determinação da folha diagnóstico e determinação do estado nutricional de canola (Brassica napus L.)**, 2017, p. 58. Dissertação (Mestrado em produção vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. PrenticeHall, 2007, p. 773.

KADRI, T. C. E.; **Diagnose da composição nutricional de tecido foliar e radicular do milho**, 2017, p. 47 . Dissertação (Mestrado em produção vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados

KHATTREE, R.; NAIK, D.N. **Multivariate data reduction and discrimination with SAS software**. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc., 2000. p. 558.

KHIARI, L.; PARENT, L. E.; TREMBLAY, N. Critical compositional nutrient indexes for sweet corn at early growth stage. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 809-814, 2001.

KÖPPEN, W. **Climatologia: com um estudo de los climas de la tierra**. New Jersey: Climatology, 1948. p 104.

KURIHARA, C. H.; ALVAREZ, V. H.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS R. F. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em soja, como variável do potencial produtivo. **Revista. Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 5, p. 690-698. 2013a.

KURIHARA, C. H.; ALVAREZ, V. H.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS R. F.; STUART L. A. Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e em soja, definidas em função de índices DRIS. **Revista. Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 3, p. 412-419, 2013b.

KURIHARA, C. H.; STAUT, L. A.; MAEDA, S. **Faixas de suficiência de nutrientes em folhas de soja, em Mato Grosso do Sul, definidas pelo uso do método DRIS de diagnose do estado nutricional**. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO

CENTRAL DO BRASIL, 30., 2008 Londrina. Resumos... Londrina: Embrapa Soja, 2008. (Embrapa Soja. Documentos, 304).

LABAIED, M. B.; SERRA, A. P.; MIMOUN, M. B.; Establishment of nutrients optimal range for nutritional diagnosis of mandarins based on DRIS and CND methods, **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 49, n. 20, p. 2557-2570, 2018.

LINDEN, R. Técnicas de Agrupamento. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**. v. 1, n. 4. p. 18-36, 2009.

LOPES, B.; RAMOS, I. C. de O.; RIBEIRO, G.; CORREA, R.; VALBON, B. F.; LUZ, A. C.; SALOMÃO, M.; LYRA, J. M.; JUNIOR, R. A. Biostatistics: fundamental concepts and practical applications; **Rev Bras Oftalmol**. v. 73, n. 1, p 16-22, 2014.

MAATHUIS, F. JM.; Physiological functions of mineral macronutrients, in **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, p. 250-258, 2009.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**, São Paulo: Ceres, 2006. p. 638.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997, p. 319.

MANCIN, C. R.; SOUZA, L. C. F.; NOVELINO, J. O. MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C. Desempenho agrônomo da soja sob diferentes rotações e sucessões de culturas em sistema plantio direto. **Acta Scientiarum.Agronomy**, Maringá, v.31, n.1, p.71-77, 2009.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed London: Elsevier, 2012. 643p.

MARTINEZ, E. Z.; NETO, F. L.; PEREIRA, B. B. de. A curva ROC para testes diagnósticos. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 11, n. 1, p. 7-31, 2003.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais** .5ª Aproximação. Viçosa: UFV, 1999. p. 143-168.

MASON, R. L.; YOUNG, J. C. **Multivariate Statistical Process Control with Industrial Applications**. Philadelphia: ASA/SIAM, 2002, p. 259.

MATOS, M. A.; SALVI, J. V.; MILAN, M. Pontualidade na operação de semeadura e a antecipação da adubação e suas influências na receita líquida da cultura da soja. **Eng. Agríc**. v. 26, n. 2, p. 493-501, 2006.

MILLS, H. A.; JONES Jr, J. B. **Plant analysis handbook II**. Athens: Micro Macro Publishing ,Inc., 1996. p.422.

MORO, L. **Produtividade, aporte de nutrientes e índices do sistema DRIS em povoamentos de Pinus taeda submetidos à adubação NPK em diferentes idades no Planalto Sul Catarinense.** 2017. p. 86. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

NELSON, L. A.; ANDERSON, R. L. Partitioning of soil test-crop response probability. In: PECK, T. R. et al. (Ed.). Soil testing: **Correlating and interpreting the analytical results.** Madison: ASA Spec. Publ., p. 19-38, 1977.

OLIVEIRA, F. A.; CARMELLO, Q. A. C.; MASCARENHAS, H. A. A. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa-devegetação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v. 58, n. 2, p. 329-335, 2001.

OLSEN, S. R. Micronutrient interactions. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. (Ed.) **Micronutrients in agriculture.** Madison: SSSA, p. 243-264, 1972.

OVALLES, F. A.; COLLINS, M. E. Variability of northwest Florida soils by principal component analysis. **Soil Science Society America Journal**, v. 52, p. 1430-1435, 1988.

PARENT, L. E. ; NATALE, W. CND como alternativa a sistemas de alta produtividade: vantagens e benefícios. In: Prado, R.M. et al.. (Org.). **Nutrição de Plantas: Diagnose foliar em grandes culturas.** 1ed. Jaboticabal - SP.: Funep, v. 1, p. 105-114, 2008.

PARENT, L. E.; NATALE, W.; ZIADI, N. Compositional nutrient diagnosis of corn using the Mahalanobis distance as nutrient imbalance index. **Canadian Journal of Soil Science**, vol. 89, p. 383-390, 2009.

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

PARENT, L. E.; NATALE, W. CND: vantagens e benefícios para culturas de alta produtividade. In: PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; VALE, D. W.; CORREIA, M. A. R.; SOUZA, H. A. (Ed.). **Nutrição de plantas: diagnose foliar em grandes culturas.**Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2008. p. 105-114.

PARENT, L. E.; NATALE, W.; ZIADI, N. Compositional nutrient diagnosis of corn using the Mahalanobis distance as nutrient imbalance index. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 89, p. 383-390, 2009.

PARENT, L. E.; PARENT, S.-É.; HÉBERT-GENTILE, V.; NAESS, K.; LAPOINTE, L. "Mineral Balance Plasticity of Cloudberry (*Rubus Chamaemorus*) in Quebec-Labrador," **American Journal of Plant Science**, v. 4, n. 7, p. 1508-1520, 2013 b.

PARENT, L. E.; DAFIR, M. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.117, p.239-242, 1992.

PARENT, L.E.; NOWAKI, R. H. D.; PARENT, S. E.; FILHO, A. B. C.; NATALE, W. Avaliação do estado nutricional de hortaliças pelo método CND, 2016. In: PRADO, R.de

M.; CECÍLIO FILHO, A.B. **Nutrição e adubação de hortaliças**. p.393-418 Embrapa Rondônia, Jaboticabal, SP, 2016. 600 p.

PARENT, S. E.; PARENT, L. E.; ROZANE, D. E.; HERNANDES, A.; NATALE, W. "Nutrient balance as paradigm of plant and soil chemometrics" in **Soil Fertility**, ed. R. N. Issaka (New York: In Tech Publications), p. 83–114. 2012.

PARENT, S-É.; PARENT, L. E.; ROZANE, D. E.; NATALE, W. Plant ionome diagnosis using sound balances: Case study with mango (*Mangifera Indica*) **Frontiers in Plant Science**, v. 4, n. 449, p. 1-12, 2013 a.

PILETTI, L. M. M. da S. **Desempenho agrônomico de milho e soja em diferentes sistemas de rotação de culturas**. Dourados, 2016. 76p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados.

PRADO, R. de M. **Nutrição de plantas: diagnose foliar em frutíferas**. Jaboticabal: Unesp, 2012. p.579.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas** ed. Unesp - São Paulo, 2008, p.139-160.

RAIJ, B., **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011, p.217.

RASLICH, M. A.; MARKERT, R. J.; STUTES, S. A. Selecting and interpreting diagnostic tests. **Biochemia Medica**, v. 17, n. 2, p. 139-270, 2007.

REIS Jr., R. A.; MARTINEZ, H. E. P. Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v.59, n.3, p.537-542, 2002.

RIBEIRO, L. M.; CECCON, G.; MECCHI, I. A.; SANTOS, A. L. F.; FACHINELLI, R.; MAKINO, P. A. Produtividade da soja em sucessão a cultivos de outono-inverno. **Revista Agrarian**, v. 11, n. 40, p. 120-131. 2018.

RICHETTI, A.; **Viabilidade econômica da cultura da soja para a safra 2019/2020, na região centro-sul de Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa, 2019. 7p. (Comunicado Técnico 251)

ROSS, S.M. **Introduction to probability and statistics for engineers and scientists**. John Wiley & Sons, New York, 669 p. 1987.

SALCEDO, I. H. Biogeoquímica do fósforo em solos da região semi-árida do NE do Brasil. **Revista Geografia**, Recife, v. 23, p. 108-123, 2006.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. (Ed.). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. revisada e ampliada. Brasília: Embrapa solos, 353 p. 2013.

SEMAGRO – **Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Desenvolvimento Econômico, Produção e Agricultura Familiar**. Disponível em: <http://www.semagro.ms.gov.br/>. Acesso em: 10 dez. 2019.

SERRA A. P.; MARCHETTI, M. E.; GONÇALES, M. C.; ENSINAS, S. C.; MOUNA, B. L.; SILVA, F. E. da; LOURENTE, E. R.; MOTOMIY, A. V. A.; MAYUMI, T. A.; MATOS, F. A. (2016). Nutritional Status of Cotton Plant Assessed by Compositional Nutrient Diagnosis (CND). **Cotton Research**, Prof Ibrokhim Abdurakhmonov (Ed.) Intech, DOI: 10.5772/64388.

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; CAMACHO, M. A. Desenvolvimento de normas DRIS e CND e avaliação do estado nutricional da cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 97-104, 2010.

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; ROJAS, E. P.; MORAIS, H. S.; CONRAD, V. A.; GUIMARÃES, F. C. N. Estabelecimento de normas DRIS para o algodoeiro com diferentes critérios de seleção da população de referência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 1472-1480, 2013.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 1999, 370p.

SILVA, S, de A.; LIMA, J. S. de S. Avaliação da variabilidade do estado nutricional e produtividade de café por meio da análise de componentes principais e geostatística. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 2, p.271-277, 2012.

ŠIMUNDIĆ, A. Measures of diagnostic accuracy: basic definitions. **The Journal of the International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine**, v. 19, n. 4, p. 203-211, 2009.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004, p. 416.

SOUZA, A. M.; VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. Santa Maria: Departamento de Estatística UFSM. 2005, p. 215.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MOLLER I. M., MURPHY A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ed., Porto Alegre: Artmed, 2017, p.888.

TINO, V. F. **Utilização da análise de componentes principais na regulação de máquinas de injeção plástica**. 2005, p. 79 Dissertação (mestrado em engenharia elétrica) – UFRJ, Rio de Janeiro.

UMBELINO, A. S; OLIVEIRA, D. G.; MARTISN, M. P. O; REIS, E. F; Definições de zona de manejo para soja de alta produtividade. **Rev. de Ciências Agrárias**. v. 41, n. 3, p. 674-682, 2018.

URANO, E. O.; Kurihara, C. H.; Shizuo Maeda, S.; Vitorino, A. C. T.; Gonçalves, M C.; Marchetti, M. E.; Avaliação do estado nutricional da soja; **Pesq. agropecuária brasileira**. v. 41, n. 9, p. 1421-1428, 2006.

VARELLA, C.A.A. **Estimativa da produtividade e do estresse nutricional da cultura do milho usando imagens digitais**. 2004. p. 92 Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

VITTI, G.C.; TREVISAN, W. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja. **Informações Agrônomicas**, n.90, 2000.p.16

WADT, P.G.S. **Os métodos da chance matemática e do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucalipto**.1996, p. 123. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa – Viçosa.

WALWORTH, J. L.; SUMNER, M. E. The Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). **Advance in Soil Science**, v. 6, p. 149-188, 1987.

WEBB, G.I.; TING, M. On the application of ROC analysis to predict classification performance under varying class distributions. **Machine Learning**, v. 58, n. 1, p. 25-32, 2005.

ZOTARELLI, L. **Balanço de nitrogênio na rotação de culturas em sistema de plantio direto e convencional na região de Londrina**, 2000, p. 134. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

ANEXO 1. Dados originais de análise foliar e produtividade em ordem decrescente de produtividade na cultura da soja no centro Sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.

Produtividade (kg ha ⁻¹)	amostra n	foliar										
		g/kg						mg/kg				
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
5196	105	42,8	2,0	12,8	6,4	1,8	1,9	355,4	179,2	20,7	5,4	22,9
5010	110	48,6	3,5	17,8	7,8	2,6	2,2	120,6	54,5	30,0	90,2	48,8
4920	52	52,8	4,0	19,3	6,0	2,4	2,6	515,1	40,0	32,0	6,4	44,1
4752	106	45,4	2,5	15,0	6,8	0,9	1,9	633,7	189,6	26,8	6,5	25,8
4680	114	51,6	3,1	14,5	9,8	2,8	2,5	191,0	120,2	66,7	138,0	44,0
4620	50	46,1	3,2	17,0	6,6	2,3	2,0	211,2	68,2	25,7	6,4	47,5
4614	7	54,3	4,9	23,0	5,8	2,4	2,8	592,5	44,0	29,3	9,9	48,9
4530,6	18	43,7	3,3	19,8	5,0	1,9	3,2	167,4	106,9	29,3	17,2	47,5
4530	34	50,4	2,7	19,5	5,4	1,8	2,2	209,5	71,1	24,5	5,4	39,4
4527,6	17	51,7	3,3	18,5	5,1	2,0	2,6	193,8	43,0	26,6	21,7	63,9
4500	56	55,3	4,1	18,3	6,1	2,5	2,7	165,4	29,6	26,6	13,1	48,0
4336,2	39	49,5	2,8	16,5	5,0	1,7	2,9	145,9	55,7	22,0	4,8	48,9

... continuação do Anexo 1												
4326,6	11	50,0	3,6	19,0	4,6	1,6	3,1	177,2	37,3	24,1	6,0	45,9
4320	3	48,9	3,9	21,0	5,6	2,1	2,7	168,4	34,3	27,8	7,6	51,2
4320	53	50,6	3,9	19,0	5,7	2,4	2,7	344,5	33,8	25,9	7,5	47,5
4309,2	9	49,3	3,8	19,3	4,9	1,9	3,0	199,7	42,4	24,5	14,4	49,4
4300,2	91	44,3	3,4	15,8	5,9	2,4	2,4	181,5	56,1	35,5	7,5	43,9
4210,8	10	55,7	4,0	21,8	5,2	1,9	3,1	240,2	32,2	22,5	5,4	48,5
4200	45	49,0	2,8	15,0	6,6	2,1	2,3	117,6	67,1	23,5	112,9	57,3
4200	62	52,1	3,5	17,0	7,2	2,7	2,5	174,2	78,6	30,8	6,4	52,8
4200	71	48,6	3,1	16,0	6,0	2,4	2,4	167,9	119,1	41,0	5,2	32,4
4200	72	47,2	3,2	13,8	6,2	2,3	2,2	132,1	52,9	28,8	4,7	29,6
4200	113	42,8	2,8	13,3	8,1	2,9	1,7	116,4	83,9	33,1	85,7	43,4
4200	117	54,8	2,5	16,0	9,6	2,7	1,9	107,6	148,1	28,5	5,0	46,0
4200	118	53,8	2,5	18,5	9,5	2,4	1,7	136,8	165,6	30,7	5,5	41,2
4200	119	47,2	2,5	14,8	10,1	2,4	2,1	113,7	135,7	36,4	5,5	37,6
4200	120	49,2	2,1	13,3	9,2	3,4	2,0	233,1	264,0	45,0	5,5	43,2

... continuação do Anexo 1													
4200	121	55,7	3,0	18,3	9,4	2,9	2,5	112,7	140,3	31,3	6,1	44,8	
4200	122	49,6	2,8	18,3	7,9	2,4	2,2	118,7	108,2	27,8	5,5	40,7	
4200	123	57,0	2,9	18,0	7,5	3,1	1,9	121,7	121,7	36,9	5,5	48,6	
4200	124	52,1	2,9	18,3	8,2	3,0	2,0	107,6	134,1	34,7	5,0	45,5	
4200	125	55,2	3,3	20,0	9,9	2,5	2,3	173,9	87,0	32,0	6,6	53,5	
4200	126	53,4	3,8	23,8	9,0	2,7	3,2	215,1	74,0	34,9	8,8	41,4	
4200	127	54,1	3,1	17,5	10,1	3,2	3,0	180,9	209,7	45,2	7,7	31,1	
4200	128	53,6	3,2	21,3	8,2	2,5	2,8	191,0	124,3	35,0	8,3	27,8	
4200	129	59,0	3,5	20,0	7,8	2,4	2,4	163,9	97,9	28,8	6,6	36,2	
4200	130	57,3	3,8	23,0	9,0	2,9	2,9	199,0	113,9	32,7	7,7	42,7	
4200	131	57,7	3,5	21,3	10,7	3,2	3,8	210,0	406,5	46,0	7,7	26,8	
4200	132	56,2	3,4	21,5	12,4	3,4	2,9	201,0	264,0	46,0	8,3	31,7	
4200	133	58,4	3,3	19,0	9,1	2,7	2,5	141,8	139,3	36,1	7,7	38,5	
4200	134	50,3	3,0	19,8	9,7	2,4	2,2	160,8	149,7	38,3	6,6	52,8	
4200	135	55,6	2,9	18,3	10,0	3,0	2,5	198,0	111,9	45,7	7,7	45,6	

... continuação do Anexo 1												
4200	136	59,4	3,3	21,3	8,5	2,6	2,7	134,7	70,4	37,1	7,2	35,6
4200	137	55,9	3,2	22,0	8,9	2,7	2,8	282,1	217,4	48,6	7,2	30,9
4200	138	54,3	3,1	20,0	10,6	3,0	3,7	174,9	409,1	74,7	9,3	36,8
4194	23	47,2	3,6	20,8	5,2	1,7	2,7	211,5	28,1	26,0	6,0	44,7
4180,8	15	47,4	4,3	23,5	6,1	2,2	2,5	196,8	30,7	31,1	15,0	44,4
4176	22	50,2	3,2	18,5	5,2	1,7	2,9	269,6	29,7	25,1	7,1	48,2
4140	111	52,9	3,6	13,8	7,3	2,6	2,2	133,2	137,5	60,7	15,3	46,5
4140	112	52,9	3,6	13,8	7,3	2,6	2,2	133,2	137,5	60,7	15,3	46,5
4110,6	93	41,6	3,3	15,3	6,3	2,3	2,3	150,0	227,8	71,8	6,4	44,7
4105,8	40	47,2	2,9	18,8	5,4	1,9	3,2	145,9	63,9	25,5	4,8	74,7
4098	33	47,6	3,1	17,0	5,8	2,2	3,6	201,7	58,3	25,5	11,0	46,1
4080	61	53,2	3,9	21,8	6,9	2,6	2,2	206,3	26,5	27,1	8,0	43,3
4062	1	47,4	3,1	18,3	6,0	1,8	2,4	160,6	36,3	23,0	7,6	58,1
4062	26	43,7	3,5	21,3	5,2	1,8	2,3	234,9	63,4	23,8	6,0	48,7
4014	147	44,3	2,9	20,0	11,2	2,6	1,9	149,8	77,7	29,8	6,1	32,3

... continuação do Anexo 1												
4014	148	42,1	3,0	22,0	11,5	2,8	2,0	148,0	77,5	29,2	5,9	31,6
4002	4	52,8	3,9	21,0	5,9	2,1	3,7	211,5	54,2	27,6	136,6	53,2
4002	149	47,1	3,1	19,8	4,1	1,7	3,0	254,9	47,1	26,8	7,1	44,1
3978	30	50,6	4,0	20,8	5,3	2,0	2,7	204,6	48,6	26,0	6,5	44,9
3962,4	38	46,1	3,6	21,0	5,2	1,5	3,0	196,8	49,6	21,8	6,0	45,1
3930	5	44,7	3,0	19,8	5,3	1,7	2,1	184,1	41,9	24,1	116,9	51,9
3900	64	46,1	3,3	17,0	6,0	2,2	2,5	119,5	70,3	40,2	5,2	33,5
3888	25	47,6	3,2	22,0	5,5	1,8	2,3	338,1	37,3	23,5	14,4	49,9
3876	24	48,6	3,8	22,3	5,0	1,7	3,3	188,9	27,6	25,3	8,8	47,3
3834	2	49,0	3,8	22,3	5,0	1,8	2,4	180,1	29,1	26,0	7,1	50,5
3824,4	16	51,1	4,6	20,8	4,8	1,9	2,4	246,7	30,2	24,5	8,2	48,5
3796,2	13	46,2	2,9	18,8	6,0	2,0	2,4	289,1	61,9	29,0	156,3	46,6
3783,6	12	45,8	3,6	21,0	5,3	2,1	2,5	190,9	38,4	27,3	10,5	44,4
3780	42	44,7	2,3	13,8	7,3	2,1	2,3	113,2	75,0	23,1	76,8	37,7
3780	43	50,6	3,4	16,8	6,2	2,1	2,4	166,8	43,5	27,8	8,0	46,5

... continuação do Anexo 1												
3780	44	41,5	2,1	11,8	7,2	1,6	2,0	95,4	70,8	30,7	78,5	37,7
3750	36	50,4	2,7	19,5	5,4	1,8	2,2	209,5	71,1	24,5	5,4	39,4
3650,4	14	45,7	2,8	18,5	4,8	1,5	2,3	172,3	55,2	23,6	119,7	43,2
3600	48	52,1	2,9	15,3	6,3	1,8	2,5	241,4	40,5	26,8	22,0	35,4
3600	49	48,6	2,8	16,8	6,6	2,1	2,4	178,1	236,5	50,8	6,9	52,1
3600	51	49,6	2,9	17,5	6,5	2,4	2,2	163,5	90,0	28,0	5,2	52,8
3600	54	53,1	4,0	18,3	6,1	2,3	2,9	239,5	36,9	40,6	17,5	60,2
3600	60	52,9	3,4	16,5	6,0	2,1	1,7	139,1	21,8	26,8	12,5	48,6
3600	115	46,1	2,6	14,3	8,4	2,6	2,0	115,3	66,1	38,5	135,2	50,3
3600	116	46,1	2,6	14,3	8,4	2,6	2,0	115,3	66,1	38,5	135,2	50,3
3493,8	146	39,90	3,00	12,10	8,50	3,30	2,50	131,0	66,0	39,0	11,0	44,2
3489,6	19	42,1	2,7	17,5	5,3	1,5	2,7	259,8	32,2	26,0	7,6	47,7
3480	68	50,4	3,4	18,3	5,1	2,0	2,3	182,0	44,7	35,6	5,8	28,4
3456	27	50,6	2,8	17,5	5,1	1,7	2,9	233,0	23,5	20,8	6,0	47,3
3456	28	50,6	2,8	17,5	5,1	1,7	2,9	233,0	23,5	20,8	6,0	47,3

... continuação do Anexo 1												
3366	84	51,4	3,2	17,0	7,8	3,4	3,0	113,9	53,5	49,1	8,3	38,8
3366	85	53,5	2,0	15,8	8,0	3,0	2,2	106,8	124,8	21,3	6,2	54,3
3366	86	45,5	1,8	19,0	6,6	2,9	2,2	113,9	108,3	17,5	5,7	50,0
3366	87	46,9	2,0	18,8	5,9	2,6	2,5	162,1	118,9	26,6	6,2	47,1
3360	46	44,4	2,4	11,8	6,6	1,8	2,0	101,1	77,5	27,1	9,7	41,1
3360	47	52,3	2,6	14,0	6,9	1,8	2,4	171,3	40,0	27,3	146,4	34,5
3360	70	46,2	2,8	13,5	6,6	2,6	2,4	136,3	72,9	33,6	4,7	31,6
3360	73	50,0	3,4	14,5	5,8	2,5	2,6	178,4	138,6	53,8	5,2	42,4
3360	74	48,6	3,3	14,8	5,6	2,3	2,3	157,4	138,0	39,1	4,7	37,7
3324	29	47,6	3,2	22,0	5,5	1,8	2,3	338,1	37,3	23,5	14,4	49,9
3300	59	53,6	4,3	22,3	6,2	2,6	2,3	177,1	29,6	28,5	6,9	48,0
3294	41	46,1	3,3	21,5	4,7	1,5	3,1	205,6	60,4	28,6	6,0	39,8
3259,8	145	34,30	2,70	21,20	10,10	3,30	0,20	120,0	66,3	38,0	11,0	35,4
3240	55	51,6	3,8	15,8	5,5	2,2	2,1	175,2	42,6	29,4	112,9	44,6
3240	57	51,8	4,0	19,0	6,4	2,5	2,7	165,4	28,0	23,5	8,0	46,7

... continuação do Anexo 1												
3240	58	54,5	4,1	21,3	5,5	2,4	1,9	135,2	30,6	26,1	6,4	40,8
3240	67	49,3	3,8	19,5	5,3	2,6	1,8	176,1	58,3	56,9	8,0	55,4
3210	37	47,4	3,6	22,8	5,3	2,0	2,7	190,9	73,1	28,3	13,3	54,5
3180	66	48,6	4,1	20,5	5,4	2,3	1,8	236,6	52,5	59,5	12,0	44,8
3143,4	92	47,5	3,9	14,0	5,9	2,4	2,4	303,6	56,1	28,3	8,0	39,5
3124,8	143	43,20	3,20	16,30	8,80	3,60	2,60	129,0	69,0	48,0	17,0	43,1
3124,8	144	47,50	3,70	14,40	7,20	3,60	2,20	144,0	67,0	42,0	13,0	35,6
3120	69	48,6	2,9	13,8	5,8	2,4	2,7	146,9	241,0	60,7	4,7	45,2
3120	88	54,5	1,2	17,5	6,8	3,2	2,4	510,2	90,6	50,8	52,2	42,1
3120	89	50,0	1,2	18,3	5,8	2,9	2,6	200,5	84,3	34,9	13,6	44,8
3099	142	44,40	2,90	15,60	9,60	3,50	2,70	145,0	71,0	36,0	10,0	37,4
3060	65	52,5	3,9	17,0	5,8	2,4	2,6	143,7	57,7	21,9	5,8	38,1
3060	90	55,6	1,0	16,0	6,3	3,1	2,4	151,8	79,1	25,7	6,4	46,5
3058,2	21	48,8	3,3	19,0	5,7	2,1	3,2	235,3	35,3	27,3	131,0	47,8
3051,6	20	50,3	3,2	18,3	6,0	1,9	2,3	169,4	33,7	38,3	5,4	53,0

... continuação do Anexo 1												
3000	108	43,7	2,7	14,3	10,7	2,2	1,9	160,5	92,3	40,0	42,7	39,1
2982	6	44,7	2,7	18,8	5,6	1,8	2,1	763,7	48,1	24,0	6,0	50,5
2964	31	48,9	3,4	20,8	5,3	1,9	2,7	152,7	51,7	28,6	5,4	43,2
2961,6	96	49,5	3,7	15,8	9,5	2,4	2,0	133,2	71,3	33,3	6,4	41,3
2928	35	50,4	2,7	19,5	5,4	1,8	2,2	209,5	71,1	24,5	5,4	39,4
2874	32	47,6	3,1	17,0	5,8	2,2	3,6	201,7	58,3	25,5	11,0	46,1
2874	100	58,1	3,8	17,3	6,9	2,6	2,3	168,9	107,6	40,5	7,5	51,9
2851,2	94	48,5	4,3	20,5	7,3	2,8	2,0	143,7	90,8	36,9	11,4	45,7
2820	78	52,1	4,1	20,8	7,2	2,5	2,8	151,8	34,3	28,3	6,9	43,6
2778	103	55,0	3,4	16,5	7,9	2,4	2,3	142,7	74,5	24,7	5,2	45,2
2778	104	56,0	4,0	17,0	6,5	2,3	2,3	204,6	71,8	37,1	7,5	55,5
2760	63	49,3	3,5	18,0	6,7	2,3	2,0	160,5	91,3	42,1	5,8	35,8
2700	75	51,7	2,9	16,3	7,3	2,7	2,1	407,9	101,5	38,4	6,4	65,3
2700	76	54,9	3,6	17,8	7,0	2,6	2,5	224,9	78,0	30,2	6,4	51,0
2700	79	51,8	3,2	18,3	7,2	2,4	1,9	200,5	70,8	28,0	5,2	48,6

... continuação do Anexo 1												
2700	80	51,6	3,2	17,8	6,3	2,5	2,7	152,7	100,4	36,1	5,2	49,1
2700	81	56,0	4,1	21,0	6,0	2,4	2,8	256,8	43,1	28,8	6,4	47,9
2700	82	56,0	4,1	21,0	6,0	2,4	2,8	256,8	43,1	28,8	6,4	47,9
2700	83	57,1	4,4	22,5	6,1	2,7	2,9	127,4	51,0	29,7	6,4	51,9
2586	107	47,1	2,6	14,0	7,9	2,1	2,1	237,1	872,5	31,4	5,4	33,1
2526	97	48,8	4,0	17,0	7,4	2,8	2,7	172,1	132,3	42,6	6,9	44,0
2400	77	53,1	3,2	16,5	6,3	1,9	1,8	127,4	28,6	27,3	35,4	40,8
2388	8	41,6	3,3	19,8	6,3	2,4	2,3	729,5	39,4	24,6	6,5	55,8
2388	150	43,3	2,2	15,3	8,1	1,3	1,5	147,6	139,7	14,9	4,8	31,3
2307,6	98	45,7	3,6	18,3	6,8	2,2	2,5	129,0	68,2	34,5	6,4	43,4
2253	139	42,10	2,80	25,60	13,10	0,70	3,30	123,0	65,0	40,0	11,0	37,1
2253	140	39,80	3,10	16,50	13,80	3,60	4,00	164,0	68,0	34,0	15,0	34,2
2253	141	48,10	3,50	16,80	12,60	4,10	3,10	133,0	66,0	30,0	12,0	33,8
2241	95	47,6	4,7	14,8	5,9	2,5	2,0	159,5	128,1	49,6	8,6	43,1
2220	109	46,2	3,2	15,8	8,4	2,5	2,2	130,0	78,1	31,2	163,2	48,6

... continuação do Anexo 1												
2037,6	99	50,2	3,7	17,8	6,9	2,5	2,6	181,5	52,9	26,6	6,4	40,8
1272	101	51,4	3,0	14,8	7,1	2,2	2,4	176,3	209,4	56,4	6,4	43,2
1272	102	57,4	3,2	15,5	7,5	2,3	2,0	168,9	80,8	24,0	5,2	45,4

ANEXO 2. Análise de solo, variedade e adubação utilizada nos talhões para validação das normas CND, na cultura da soja no centro Sul do Mato Grosso do Sul. UFGD, Dourados-MS, 2020.

produção kg ha ⁻¹	variedade	Plantio		20-40		00-20		00-20		20-40		T cmol %	V %				
		kg/ha	Modo	KCl	Arg.	M.O.	pH	P m	K	Ca	Mg			H	Al	Al (m)	
		Dose	Fórmula	Apl	kg/ha	%	H ₂ O	mg.dm ⁻³	%CTC	cmol	%						
5010	M-Soy 6410 Ipro	350	04-30-10	SP	80	29	1,9	5,8	6,5	4,5	38,0	15,4	41,7	36,6	2,7	7,3	58,0
4530	M-Soy 6210 Ipro	150	04-30-10	SP	120	61	2,8	6,2	5,6	2,5	44,9	15,9	36,3	26,1	13,1	10,9	63,3
4098	M-Soy 6210 Ipro	150	04-30-10	SP	120	62	2,9	6,1	7,3	2,9	46,9	19,8	30,0	41,3	3,1	14,3	69,6
3600	M-Soy 6410 Ipro	250	02-24-12	SP	70	26	2,4	5,9	19,2	2,9	39,0	12,9	45,1	0,6	20,4	8,4	54,7
3143,4	M-Soy 6410 Ipro	350	04-30-10	SP	120	26	2,3	5,5	1,5	1,2	36,1	12,6	49,0	0,3	11,3	5,6	49,9
2700	M-Soy 6210 Ipro	250	02-24-12	SP	70	13	1,3	6,3	18,1	1,7	37,4	22,3	76,1	0,4	34,6	3,8	61,3
2241	M-Soy 6210 Ipro	400	04-30-10	SP	80	16	1,8	5,4	7,5	8,0	24,4	15,6	50,9	27,1	13,0	4,5	48,0