

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL (CND)  
PARA A CULTURA DA SOJA EM SISTEMA DE  
ROTAÇÃO DE CULTURAS E NO CONSÓRCIO MILHO  
COM FORRAGEIRAS**

**IZAIAS RODRIGUES DA SILVA JUNIOR**

DOURADOS – MS  
2019

**DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL (CND) PARA A  
CULTURA DA SOJA EM SISTEMA DE ROTAÇÃO DE  
CULTURAS E NO CONSÓRCIO MILHO COM FORRAGEIRAS**

**IZAIAS RODRIGUES DA SILVA JUNIOR**  
Engenheiro agrônomo

Orientadora Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>: MARLENE ESTEVÃO MARCHETTI  
Coorientador Prof.<sup>o</sup> Dr. LUIZ CARLOS FERREIRA DE SOUZA

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

DOURADOS - MS  
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S586d Silva Junior, Izaías Rodrigues Da

Diagnose da composição nutricional (CND) para a cultura da soja em sistema de rotação de culturas e no consórcio milho com forrageiras [recurso eletrônico] / Izaías Rodrigues Da Silva Junior. -- 2019.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Marlene Estevão Marchetti.

Coorientador: Luiz Carlos Ferreira de Souza.

Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2019.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

I. avaliação do estado nutricional. 2. equilíbrio nutricional. 3. teores de nutrientes. I. Marchetti, Marlene Estevão. II. Souza, Luiz Carlos Ferreira De. 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.

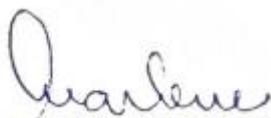
**DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL (CND) PARA A CULTURA DA  
SOJA EM SISTEMA DE ROTAÇÃO DE CULTURAS E NO CONSÓRCIO MILHO  
COM FORRAGEIRAS**

Por

Izaias Rodrigues da Silva Junior

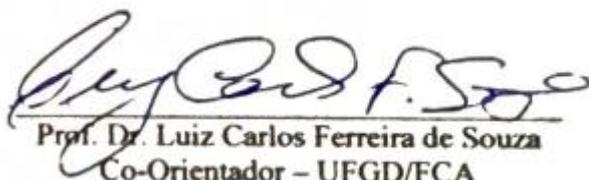
Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de  
MESTRE EM AGRONOMIA

Aprovado em: 08/03/2019



---

Prof. Dr. Marlene Estevão  
Marchetti  
Orientadora – UFGD/FCA



---

Prof. Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza  
Co-Orientador – UFGD/FCA



---

Prof. Dr. Manoel Carlos Gonçalves  
UFGD/FCA



---

Dr. Sálvio Napoleão Soares Arcoverde  
UFGD/FCA

**“O menino contou que o muro da casa dele era da altura de duas andorinhas.**

**(Havia um pomar do outro lado do muro.)**

**Mas o que intrigava mais a nossa atenção principal**

**Era a altura do muro**

**Que seria de duas andorinhas.**

**Depois o garoto explicou:**

**Se o muro tivesse dois metros de altura qualquer ladrão pulava**

**Mas a altura de duas andorinhas nenhum ladrão pulava.**

**Isso era.”**

Aos meus avós Mariano Pereira, Aparecida Rodrigues e Maria Luzia Nascimento (*In Memoriam*) e ao meu querido filho, Pedro Pereira Rodrigues.

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, por ter concedido paciência, sabedoria e forças durante a caminhada para realização dos meus objetivos.

Aos meus pais e melhores amigos, Ruth Felvo do Nascimento da Silva e Izaias Rodrigues da Silva, que sempre pacientes e compreensivos, deram todo o apoio e incentivos necessários.

Às minhas irmãs Mariana, Mayara e Winne, pela amizade e companheirismo. Ao meu irmão Matheus, por todo amor e carinho.

À professora Dra. Marlene Estevão Marchetti, minha orientadora, que sempre foi paciente e amiga, me acolhendo. Por todo apoio e aprendizado transmitido desde a graduação.

Ao professor Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza, que sempre me atendeu com muita paciência e disposição em ensinar. Sua supervisão e acompanhamento foram essenciais.

À Universidade Federal da Grande Dourados, pela oportunidade de realização desta pesquisa.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo apoio financeiro e científico.

A todos amigos, pela lealdade, confiança e motivação. Agradeço em especial aos amigos que fiz durante o mestrado, Jucimar Ferreira, Natanael Borges, Wander Cardoso e toda a equipe de trabalho que me acolheu e tornou a caminhada mais agradável. À mestrande e amiga paraguaia, Maria Emilia Brusquetti, pelo apoio, paciência e suporte indispensáveis. Aos técnicos do Laboratório de solos, Camila Farah Borges e João Augusto Machado, pela disposição em ajudar e transmitir conhecimentos que vão além das análises químicas.

À minha noiva Rafaela Pereira, que mesmo longe, esteve sempre presente. Por todo amor e compreensão.

Enfim, meu muito obrigado a cada um que contribuiu para a realização deste trabalho. Sem vocês, ele não seria possível.

## SUMÁRIO

	PÁGINA
RESUMO GERAL .....	ix
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	3
<b>CAPÍTULO I – DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL (CND) PARA A CULTURA DA SOJA EM SISTEMA DE ROTAÇÃO DE CULTURAS.....</b>	<b>5</b>
RESUMO.....	5
ABSTRACT.....	6
1. INTRODUÇÃO.....	7
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
2.1 Descrição da Área Experimental .....	10
2.2 Aquisição do Banco de Dados .....	12
2.3 Determinação de Subpopulações .....	12
2.4 Diagnose da Composição Nutricional .....	14
2.5 Análise Discriminante Múltipla.....	16
2.6 Análises Estatísticas.....	16
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
3.1 Avaliação do Estado Nutricional .....	17
3.2 Validação da Partição Cate-Nelson .....	26
4. CONCLUSÃO .....	30
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	31
<b>CAPÍTULO II – DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL (CND) PARA A CULTURA DA SOJA NO CONSÓRCIO MILHO COM FORRAGEIRAS.....</b>	<b>35</b>
RESUMO.....	35
ABSTRACT.....	36
1. INTRODUÇÃO.....	37

2. MATERIAL E MÉTODOS .....	40
2.1 Descrição da Área Experimental .....	40
2.2 Aquisição do Banco de Dados .....	42
2.3 Determinação de Subpopulações .....	42
2.4 Diagnose da Composição Nutricional .....	44
2.5 Análise Discriminante Múltipla.....	46
2.6 Análises Estatísticas.....	46
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
3.1 Avaliação do Estado Nutricional .....	47
3.2 Validação da Partição Cate-Nelson .....	56
4. CONCLUSÃO .....	60
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61

SILVA JUNIOR, I. R. **DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL (CND) PARA A CULTURA DA SOJA EM SISTEMA DE ROTAÇÃO DE CULTURAS E NO CONSÓRCIO MILHO COM FORRAGEIRAS.** 2019. Dissertação (Mestrado em Produção vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

**RESUMO:** A avaliação do estado nutricional é uma importante ferramenta para identificação do desequilíbrio de nutrientes nos cultivos, caracterizando os excessos e/ou deficiências e também auxiliando no melhor manejo dentro dos programas de adubação. Objetivou-se com este trabalho desenvolver normas de composição nutricional e avaliar o estado nutricional da cultura da soja (*Glycine max* L.) cultivada em dois sistemas de manejo, rotação de culturas e consórcio milho com forrageiras. Os dois experimentos foram conduzidos na Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias, pertencente à Universidade Federal da Grande Dourados. O delineamento experimental para a área em rotação de culturas foi em blocos casualizados com 13 tratamentos e quatro repetições, totalizando 52 parcelas. Para o experimento na área de consórcio milho com forrageira, o delineamento foi em blocos casualizados com 16 tratamentos e quatro repetições, totalizando 64 parcelas. As amostras foliares, colhidas em cada parcela, foram compostas por 30 folhas (terceiro trifólio totalmente expandido) coletadas no estádio R2. A divisão da população foi realizada pelo método de Cate-Nelson, originando quatro subpopulações mediante a produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e o equilíbrio nutricional, este sendo calculado por meio da Distância de Mahalanobis. As normas CND foram elaboradas considerando as populações de referência para cada experimento, abrangendo as amostras altamente produtivas e nutricionalmente equilibradas. A população de referência foi formada por 18 amostras para o sistema de rotação de culturas e 19 para o sistema de consórcio. Com base nessas populações foram estimados os níveis críticos de nutrientes para cada sistema, assim como faixas de suficiências. Os teores de nutrientes considerados adequados para a soja em sistema de rotação com produtividade acima de  $4819,36 \text{ kg ha}^{-1}$  são, em  $\text{g kg}^{-1}$ : N = 47,6 – 51,1; P = 5,1 – 5,6; K = 22,9 – 24,8; Ca = 10,3 – 11,0; Mg = 3,7 – 4,0; S = 2,6 – 2,9; em  $\text{mg kg}^{-1}$ : Cu = 13,8 – 14,8; Mn = 106,1 – 114,6 e Zn = 42,8 – 46,4. Os teores de nutrientes considerados adequados para a soja em sucessão ao consórcio com produtividade acima de  $4301,01 \text{ kg ha}^{-1}$  são, em  $\text{g kg}^{-1}$ : N = 44,9 – 48,0; P = 6,3 – 7,0; K = 17,2 – 18,6; Ca = 9,4 – 10,1; Mg = 3,6 – 3,9; S = 2,8 – 3,1; em  $\text{mg kg}^{-1}$ : Cu = 13,8 – 14,9; Mn = 76,9 – 83,6 e Zn = 35,3 – 38,1. Os nutrientes que apresentaram desequilíbrio, relacionados as populações de baixa produtividade para o sistema de rotação, sendo limitantes por deficiência são P e Mg, já os nutrientes em excesso N, K e Zn. Para o sistema de consórcio, os nutrientes limitantes por deficiência foram P, K Cu e Zn, e por excesso N, Ca e Mg. Após a estimação das faixas de suficiência, foi realizada a análise discriminante múltipla, obtendo 93,5 e 96,3% de acerto nas classificações dos grupos preditos para os sistemas de rotação e consórcio, respectivamente.

**Palavras-chave:** avaliação do estado nutricional, equilíbrio nutricional, teores de nutrientes.

SILVA JUNIOR, I. R. **COMPOSITIONAL NUTRIENT DIAGNOSIS (CND) FOR SOYBEAN CULTURE CULTIVATED IN CROP ROTATION SYSTEM AND INTERCROPPING CORN WITH FORAGES.** 2019. Dissertation (Master in Agronomy) - Federal University of Grande Dourados, Dourados - MS.

**RESUMO:** The evaluation of the nutritional status is an important tool to identify nutrient imbalance in crops, characterizing the excesses and/or deficiencies and helping in the best management within the fertilization programs. The objective of this study was to develop CND standards and to evaluate the nutritional status of soybean (*Glycine max* L.) cultivated in two management systems, crop rotation and intercropping corn with forages. The two experiments were conducted at the Experimental Farm of the Faculty of Agrarian Sciences, belonging to the Federal University of Grande Dourados. The experimental design for the area under crop rotation was in a randomized block with 13 treatments and four replicates, totaling 52 plots. For the corn intercropping experiment, the design was in a randomized complete block with 16 treatments and four replications, totaling 64 plots. The leaf samples were composed of 30 leaves (third fully expanded trifolium) collected in the R2 stage. The population distribution was performed by the Cate-Nelson method, giving rise to four subpopulations through productivity ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) and nutritional balance, being calculated through the Mahalanobis Distance. The CND standards were elaborated considering as reference of each sample, covering the highly productive and nutritionally balanced samples. The reference population consisted of 18 samples for the crop rotation system and 19 for the corn intercropping. Based on these populations, critical nutrient levels were estimated for each system, as well as ranges of sufficiency. The nutrient content considered suitable for the soybean in rotation system with yields above  $4819.36 \text{ kg ha}^{-1}$  are, in  $\text{kg kg}^{-1}$ : N = 47.6 – 51.1; P = 5.1 – 5.6; K = 22.9 – 24.8; Ca = 10.3 – 11.0; Mg = 3.7 – 4.0; S = 2.6 – 2.9; in  $\text{mg kg}^{-1}$ : Cu = 13.8 – 14.8; Mn = 106.1 – 114.6 e Zn = 42.8 – 46.4. The nutrient contents considered suitable for soybean in the second system, with productivity above  $4301.01 \text{ kg ha}^{-1}$  are, in  $\text{kg kg}^{-1}$ : N = 44.9 – 48.0; P = 6.3 – 7.0; K = 17.2 – 18.6; Ca = 9.4 – 10.1; Mg = 3.6 – 3.9; S = 2.8 – 3.1; in  $\text{mg kg}^{-1}$ : Cu = 13.8 – 14.9; Mn = 76.9 – 83.6 e Zn = 35.3 – 38.1. The nutrients that presented imbalance, related to the populations of low productivity for the rotation system, being limiting by deficiency are P and Mg, and the nutrients in excess N, K and Zn. For the corn intercropping, the limiting nutrients for deficiency were P, K Cu and Zn, and for excess N, Ca and Mg. After the estimation of the sufficiency ranges, the multiple discriminant analysis was performed, obtaining 93.5 and 96.3% accuracy in the classifications of the groups predicted for the rotation and intercropping systems, respectively.

**Key words:** nutritional status assessment, nutritional balance, nutrient content.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A soja (*Glycine max* L.) é considerada um dos mais importantes produtos dentro do agronegócio brasileiro. Segundo levantamento da CONAB (2019), a área semeada no Brasil em 2018 foi de 35.100 milhões de hectares, sendo a cultura com maior extensão cultivada. Em Mato Grosso do Sul, acompanhando o cenário nacional, a área destinada ao cultivo da soja foi de 2.620,9 milhões de hectares. Dada a importância espacial deste cultivo, se torna imprescindível a adoção de práticas culturais mais conservacionistas, visando maiores acréscimos na produtividade e manutenção da qualidade do solo.

Nas últimas décadas, novos conceitos de sistemas de produção agrícola, baseados na conservação do solo, diversificação de culturas, reciclagem de nutrientes, uso sistemático de adubos orgânicos e outras práticas alternativas, têm sido desenvolvidos na tentativa de equilibrar a produtividade com a conservação do meio ambiente.

O sistema plantio direto (SPD) se norteia nos princípios básicos da rotação de culturas, na permanente cobertura e no revolvimento mínimo do solo, constituindo numa importante técnica de recuperação e manutenção da capacidade produtiva de solos degradados. O não revolvimento do solo e a maior manutenção dos resíduos culturais confere ao solo elevada proteção contra as variações de temperatura, aos impactos da água da chuva e aos processos de erosão, além de elevar o teor de matéria orgânica, mobilizar e reciclar nutrientes nesses solos (SILVA et al., 2011).

Assim como a rotação de culturas, o consórcio de culturas anuais com espécies forrageiras proporciona benefícios ao meio ambiente, melhora as condições físicas e biológicas do solo, aumenta a cobertura do solo com resíduos e reduz a infestação de ervas daninhas (LOOS et al., 2012; CECCON et al., 2013; FACCIN et al., 2016).

A adoção de plantas de cobertura no sistema produtivo, como alternativa para diminuir o tempo de exposição do solo aos efeitos dos agentes climáticos, é uma estratégia capaz de aumentar a sustentabilidade da produção agrícola, gerar melhorias ao solo e ao ambiente, e assim beneficiar as culturas de interesse econômico. O manejo dessas coberturas e a compreensão sobre tempo de decomposição e liberação de nutrientes contidos nos resíduos são fatores de extrema importância (GAMA-RODRIGUES; BRITO, 2007).

Podendo ser influenciado pelos diferentes sistemas de produção, o cultivo da soja, assim como as demais culturas, é dependente da nutrição mineral, sendo fator

limitante para a produtividade. Neste contexto, a avaliação do estado nutricional da planta, através da análise do tecido foliar, se apresenta como uma ferramenta importante para identificação de possíveis deficiências e, também, para o manejo adequado da fertilidade.

A absorção de nutrientes pelas plantas é um processo complexo e a presença de determinado nutriente no solo, em concentrações disponíveis, não é garantia de que o mesmo será absorvido, pois muitos fatores ambientais podem interferir neste processo (SOUZA et al., 2007). A utilização de análises do tecido foliar, em conjunto com análises químicas do solo, auxilia na adequação das recomendações de adubação (MARSCHNER, 2012) e, conseqüentemente, no melhor suprimento das demandas nutricionais.

Existem várias metodologias para interpretação da condição nutricional das plantas, sendo que em algumas abordagens são utilizados métodos univariados, analisando os teores de cada nutriente com valores estabelecidos, sem levar em conta as possíveis interações. Visando integrar o efeito da interação entre os nutrientes nas análises, Parent e Dafir (1992) desenvolveram a Diagnose da Composição Nutricional (CND).

Segundo Parent et al. (1994), devido ao conceito multivariado empregado, o CND permite melhor diagnose da condição nutricional da planta, em resposta às variações dos teores de nutrientes disponíveis, permitindo o alcance de melhores correlações entre a produtividade e os índices CND (KHIARI et al. 2001; PARENT e KHIARI, 2003). Neste sentido, à medida que a abordagem das relações nutricionais acresce, e assim a quantidade de nutriente avaliados, ampliando o enfoque multivariado e envolvendo toda a estrutura de variação da composição nutricional, a estabilidade da interpretação das análises do tecido vegetal aumenta (HOLLAND, 1966).

Dentre os diversos fatores que podem interferir, positivamente ou não, na disponibilidade e absorção de nutrientes e, conseqüentemente, no estado nutricional das culturas, o sistema de cultivo adotado tem grande relevância. Levando em consideração o exposto, objetivou-se desenvolver normas CND e avaliar o estado nutricional de soja cultivada sob sistema de rotação de culturas e no consórcio milho com forrageiras, por meio da Diagnose da Composição Nutricional, assim como a relação entre os nutrientes nas amostras foliares.

## 2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CECCON, G; STAUT, L. A.; SAGRILO, E.; MACHADO, L. A. Z.; NUNES, D. P.; ALVES, V. B. Legumes and forage species sole or intercropped with corn in soybean-corn succession in midwestern Brazil. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 204-212, Feb. 2013.

CONAB, 2019. Companhia Nacional de Abastecimento. **4º levantamento de safra**. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/24727\\_e85b0ce5402219b76fba73d839a62b7](https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/24727_e85b0ce5402219b76fba73d839a62b7)>. Acesso em: 06 jan. 2019.

FACCIN, F. C.; MARCHETTI, M. E.; SERRA, A. P.; ENSINAS, S. C. Frações granulométricas da matéria orgânica do solo em consórcio de milho safrinha com capim-marandu sob fontes de nitrogênio. **Embrapa Gado de Corte-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2016.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; BRITO, E. C. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho-Amarelo na Região Noroeste Fluminense (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1421-1428, 2007.

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

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.

LOOS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; BEUTLER, S. J.; ANJOS, L. H. C. Carbon, nitrogen and natural abundance of  $\delta$  13C e  $\delta$  15N of light-fraction organic matter under no-tillage and crop-livestock integration systems. *Acta Scientiarum*. Maringá, PR, v. 34, n. 4, p. 465-472, 2012.

MARSCHNER P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. London, Academic Press, 2012. 651p.

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.É.; ISFAN, D.; TREMBLAY, N.; KARAM, A. Multivariate nutrient diagnosis of the carrot crop. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. v. 119, p. 420-426, 1994.

PARENT, L.É.; KHIARI, L. The Compositional Nutrient Diagnosis of Onions. **Acta Horticulturae**, v. 627, p. 251-258, 2003.

SILVA, T. O. da; FURTINI NETO, A. E.; CARNEIRO, L. F.; PALUDO, V. Plantas de cobertura submetidas a diferentes fontes de fósforo em solos distintos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1315-1326, 2011.

SOUZA, A. das G. C. de; BERNI, R. F.; SOUZA, M. D. de; SOUSA, N. R. V. S.; SILVA, S. E. L. da; TAVARES, A. M.; ANDRADE, J. de S.; BRITO, M. A. M. de; SOARES, M. S. da C. **Boas práticas agrícolas da cultura do cupuaçuzeiro**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2007. 56 p.

## **CAPÍTULO I – DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL (CND) PARA A CULTURA DA SOJA EM SISTEMA DE ROTAÇÃO DE CULTURAS.**

**RESUMO:** A avaliação do estado nutricional é uma importante ferramenta para identificação do desequilíbrio de nutrientes nos cultivos, caracterizando os excessos e/ou deficiências e auxiliando no melhor manejo dentro dos programas de adubação. Objetivou-se com este trabalho desenvolver normas de composição nutricional e avaliar o estado nutricional da cultura da soja (*Glycine max* L.) cultivada em sistema de rotação de culturas. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias, pertencente à Universidade Federal da Grande Dourados. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 13 tratamentos e quatro repetições, totalizando 52 parcelas. As amostras foliares, colhidas em cada parcela, foram compostas por 30 folhas (terceiro trifólio totalmente expandido) coletadas no estádio R2. A divisão da população foi realizada pelo método de Cate-Nelson, originando quatro subpopulações mediante a produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e o equilíbrio nutricional, este sendo calculado por meio da Distância de Mahalanobis. As normas CND foram elaboradas considerando as populações de referência, abrangendo as amostras altamente produtivas e nutricionalmente equilibradas. A população de referência foi formada por 18 amostras. Com base nessa população, foram estimados os níveis críticos de nutrientes, assim como faixas de suficiências. Os teores de nutrientes considerados adequados são, em  $\text{g kg}^{-1}$ : N = 47,6 – 51,1; P = 5,1 – 5,6; K = 22,9 – 24,8; Ca = 10,3 – 11,0; Mg = 3,7 – 4,0; S = 2,6 – 2,9; em  $\text{mg kg}^{-1}$ : Cu = 13,8 – 14,8; Mn = 106,1 – 114,6 e Zn = 42,8 – 46,4. Os nutrientes que apresentaram desequilíbrio, relacionados as populações de baixa produtividade, sendo limitantes por deficiência são P e Mg, já os nutrientes em excesso N, K e Zn. Após a estimação das faixas de suficiência, foi realizada a análise discriminante múltipla, obtendo 93,5 de precisão na classificação dos grupos preditos para os sistemas de rotação de culturas.

**Palavras-chave:** avaliação do estado nutricional, equilíbrio nutricional, teores de nutrientes.

## **CHAPTER I - COMPOSITIONAL NUTRIENT DIAGNOSIS (CND) FOR THE CULTURE OF SOYBEANS IN CULTURE ROTATION SYSTEM.**

The evaluation of nutritional status is an important tool to identify the imbalance of nutrients in crops, characterizing the excesses and / or deficiencies and helping in the best management within the programs of fertilization. The objective of this work was to develop standards of nutritional composition and to evaluate the nutritional status of soybean (*Glycine max L.*) cultivated under a crop rotation system. The experiment was conducted at the Experimental Farm of the Faculty of Agrarian Sciences, belonging to the Federal University of Grande Dourados. The experimental design was a randomized complete block with 13 treatments and four replications, totaling 52 plots. The leaf samples collected in each plot were composed of 30 leaves (third fully expanded trifolium) collected in the R2 stage. The population distribution was performed using the Cate-Nelson method, giving rise to four subpopulations through productivity (kg ha<sup>-1</sup>) and nutritional balance, which was calculated using the Mahalanobis Distance. The CND standards were elaborated considering the reference populations, covering the highly productive and nutritionally balanced samples. The reference population consisted of 18 samples. Based on this population, critical nutrient levels were estimated as well as ranges of sufficiency. The levels of nutrients considered suitable are, in kg kg<sup>-1</sup>: N = 47,6 – 51,1; P = 5,1 – 5,6; K = 22,9 – 24,8; Ca = 10,3 – 11,0; Mg = 3,7 – 4,0; S = 2,6 – 2,9; in mg kg<sup>-1</sup>: Cu = 13,8 – 14,8; Mn = 106,1 – 114,6 e Zn = 42,8 – 46,4. The nutrients that presented imbalance, related to populations of low productivity, being limiting by deficiency are P and Mg, and the nutrients in excess N, K and Zn. After the estimation of the sufficiency ranges, the multiple discriminant analysis was performed, obtaining a precision of 93.5% in the classification of the groups predicted for crop rotation systems.

**Key words:** nutritional status assessment, nutritional balance, nutrient content.

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, novos conceitos de sistemas de produção agrícola, baseados na conservação do solo, diversificação de culturas, reciclagem de nutrientes, uso sistemático de adubos orgânicos e outras práticas alternativas, têm sido desenvolvidos na tentativa de equilibrar a produtividade com a conservação do meio ambiente.

O sistema plantio direto (SPD) se norteia nos princípios básicos da rotação de culturas, na permanente cobertura e no revolvimento mínimo do solo, constituindo numa importante técnica de recuperação e manutenção da capacidade produtiva de solos degradados. O não revolvimento do solo e a maior manutenção dos resíduos culturais confere ao solo elevada proteção contra as variações de temperatura, aos impactos da água da chuva e aos processos de erosão, além de elevar o teor de matéria orgânica, mobilizar e reciclar nutrientes nesses solos (SILVA et al., 2011).

O conceito de rotação de culturas está na utilização de diferentes culturas em sequência ordenada, onde o plantio de cada espécie em uma determinada área está condicionado a um intervalo de tempo de, no mínimo, dois anos. Diante disso, o sistema de rotação demanda de maior planejamento por parte dos agricultores, tanto na escolha das culturas a serem adotadas, como na execução e implantação dos cultivos (FRANCHINI et al., 2011a).

A programação do sistema de rotação deve ser feita visando atender importantes critérios, tendo como base a alternância de culturas, o cultivo de espécies com diferentes capacidades para absorver os nutrientes do solo, plantas resistentes a pragas e doenças com aquelas suscetíveis, sequência planejada de espécies considerando as possíveis interferências, positivas ou não, sobre o próximo cultivo e as diferentes demandas por água, mão-de-obra e maquinários (BRANDT, 2002).

Segundo Franchini et al. (2011a), alterações de ordem biológica, química e física tendem a surgir no solo pela ausência da rotação, tais como degradação da estrutura do solo, diminuição dos teores de matéria orgânica do solo e aumento na severidade e incidência de doenças e pragas. O que, segundo os autores, reflete no custo produtivo e na instabilidade da produtividade.

São muitos os benefícios proporcionados pelo sistema rotação de culturas, tanto na melhoria dos atributos físicos e químicos do solo, como na menor incidência de pragas e doenças, acarretando melhores rendimentos dos produtos agrícolas. O manejo adequado de plantas de cobertura em sistemas de rotação de culturas, aliadas ao cultivo

da soja, proporciona o aumento do teor de matéria orgânica do solo (ROSA et al., 2017). A utilização de espécies de plantas para maior cobertura do solo pode reduzir a quantidade de aplicações de herbicidas para o controle de plantas daninhas (MARTINS et al., 2016).

Muitos dos benefícios da rotação para os cultivos está relacionada à maior cobertura do solo, o que cria condições mais favoráveis à planta, ao solo e microrganismos. Segundo Ribeiro et al. (2015), lavouras com maior cobertura do solo, efeito proporcionado por sistemas de rotação, apresentaram maiores produtividades. Conforme Franchini et al. (2011b), a resposta da soja cultivada nestes sistemas é positiva, principalmente quando cultivada no verão subsequente ao cultivo de milho de verão, apresentando ganho produtivo em relação à soja cultivada sob sistema de sucessão.

O conhecimento da fertilidade do solo, bem como práticas adequadas de manejo nutricional, aliados a fatores climáticos e fitossanitários, se torna imprescindível para a obtenção de sucesso na lavoura. Neste sentido, a avaliação do estado nutricional tem papel importante dentro do sistema produtivo e no manejo adequado da adubação na cultura da soja (DE JESUS LACERDA et al., 2015; DA SILVA et al., 2018; PEREIRA et al., 2019).

A absorção de nutrientes pelas plantas é um processo complexo e a presença de determinado nutriente no solo, em concentrações disponíveis, não é garantia de que o mesmo será absorvido, pois muitos fatores ambientais, como temperatura e precipitação, podem interferir neste processo (SOUZA et al., 2007). A utilização de análises do tecido foliar, em conjunto com análises químicas do solo, auxilia na adequação das recomendações de adubação (MARSCHNER, 2012) e, conseqüentemente, no melhor suprimento das demandas nutricionais.

Os principais processos metabólicos ocorrem nas folhas e, por este motivo, representam com melhor exatidão a condição nutricional da planta, sendo mais sensíveis às variações, podendo indicar estados de excesso ou deficiência (MALAVOLTA, 2006).

Para a realização da diagnose em soja, crescimento do tipo indeterminado, a recomendação é de que sejam coletadas, no mínimo, 30 folhas no estágio R2 da cultura, pleno florescimento, sendo o terceiro ou quarto trifólio totalmente formado, a partir do ápice da planta (TECNOLOGIAS, 2013).

Kurihara et al. (2013), avaliando teores de nutrientes no tecido foliar, estimou faixas de suficiência nutricional, porém é comum encontrar na bibliografia outras faixas de suficiência (MAEDA et al., 2004; URANO et al., 2006; EMBRAPA, 2008), o que reforça a necessidade de pesquisas regionalizadas a fim de se ter o melhor diagnóstico e,

em consequência, informações mais precisas para programas de adubação que forneçam e atendam de forma sustentável as demandas nutritivas.

A obtenção de diferentes faixas de suprimento nutricional evidencia a complexidade do assunto. A estimativa de novos teores ótimos, obtidos regionalmente, com menor amplitude sugere melhor ajuste na utilização destes valores, quando comparados aos dados estabelecidos em diferentes condições de solo, clima e produtividade (KURIHARA, 2004; URANO et al., 2007).

À medida que a abordagem das relações nutricionais acresce, e assim a quantidade de nutrientes avaliados, ampliando o enfoque multivariado e envolvendo toda a estrutura de variação da composição nutricional, a estabilidade da interpretação das análises do tecido vegetal aumenta (HOLLAND, 1966). Neste sentido, o método de avaliação CND (PARENT; DAFIR, 1992) foi desenvolvido com o conceito de buscar interpretar os nutrientes e suas relações. Dados de composição nutricional possuem caráter multivariado, devido a isso, os teores dos nutrientes não devem ser interpretados separadamente, desconsiderando suas relações (TOLOSANA-DELGADO e VAN DEN BOOGART, 2011).

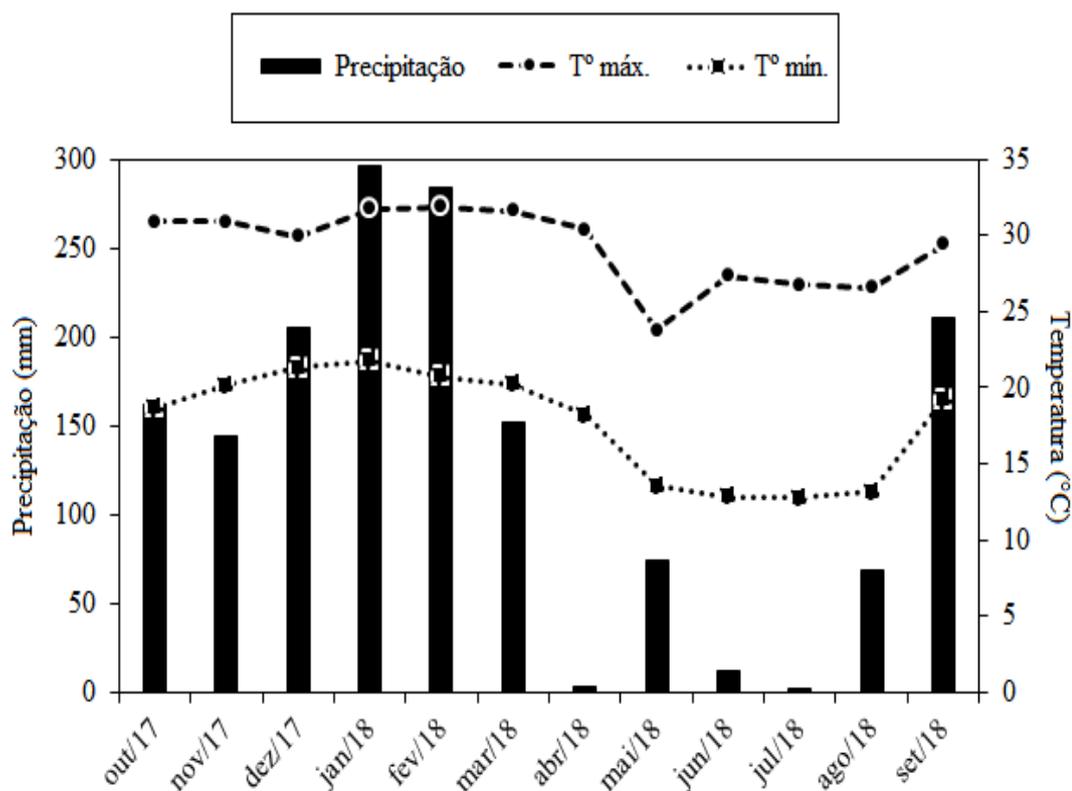
Segundo Parent et al. (1994), devido ao conceito multivariado empregado, o CND permite melhor diagnose da condição nutricional da planta, em resposta às variações dos teores de nutrientes disponíveis, permitindo o alcance de melhores correlações entre a produtividade e os índices CND (KHIARI et al. 2001; PARENT e KHIARI, 2003). Como vantagem, com este método é possível a atribuição de pesos iguais às carências e aos excessos de nutrientes no desequilíbrio ao se fazer uso da diagnose da composição nutricional, esses pesos podem ser detectados com o uso da distância de Mahalanobis (PARENT et al., 2009).

Dentre os diversos fatores que podem interferir, positivamente ou não, na disponibilidade e absorção de nutrientes e, conseqüentemente, no estado nutricional das culturas, o sistema de cultivo adotado tem grande relevância. Levando em consideração o exposto, objetivou-se desenvolver normas CND e avaliar o estado nutricional de soja cultivada sob sistema de rotação de culturas, por meio da Diagnose da Composição Nutricional, assim como a relação entre os nutrientes nas amostras foliares.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O estudo foi desenvolvido na Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (FAECA-UFGD), localizada no município de Dourados – MS, nas coordenadas geográficas 22 °14'08”S, 54°59'13”W, na altitude de 434 m. Segundo a classificação de Köppen- Geiger (PEEL et al., 2007), o clima é Aw (caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno), e o solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférico – LVdf (SANTOS et al., 2013). A precipitação anual média está entre 1100 e 1200 mm, sendo a temperatura média de 22°C. Os dados referentes a precipitação pluviométrica e temperaturas máximas e mínimas por decêndios durante o período de implantação dos experimentos, coleta das amostras e aquisição dos dados estão apresentados na Figura 1.



**FIGURA 1.** Precipitação pluviométrica, temperaturas máximas e mínimas por decêndio no período de outubro de 2017 a outubro de 2018, em Dourados – MS. Fonte: EMBRAPA (2018).

Foi realizada análise dos atributos químicos do solo da área experimental na camada de 0 – 20 cm de profundidade (Quadro 1).

**QUADRO 1.** Análise química do solo amostrado na camada de 0 – 20 cm em outubro de 2015. Dourados-MS, 2018.

Rotação de Culturas											
pH*	Al	Ca	Mg	H+Al	K	SB	T(pH7)	T(ef.)	M	V%	MO
----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----								--- % ---		g kg <sup>-1</sup>	
4,98	0,5	58,3	12,1	67,2	5,5	75,6	143,6	81,9	0	56,8	29,9

\*pH em CaCl<sub>2</sub>; SB = soma de bases; T = capacidade de troca catiônica; ef. = efetiva; V% = saturação por bases; MO = matéria orgânica do solo.

A área onde a pesquisa foi desenvolvida vem sendo cultivada desde 2009 sob Sistema Plantio Direto com rotação de culturas durante o outono/inverno. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições, contendo 13 tratamentos, ordenados no Quadro 2. Cada unidade experimental possuía 15 m de largura por 35m de comprimento, sendo a área total correspondente de 525 m<sup>2</sup>.

**QUADRO 2.** Culturas antecessoras implantadas no sistema de rotação.

Trat.	2014/2015		2015/2016		2016/2017		2017/18
	Out/Inv	Verão	Out/Inv	Verão	Out/Inv	Verão	
1	Pousio	Soja	Pousio	Milho	Pousio	Soja	
2	Milho	Soja	Milho	Milho	Milho	Soja	
3	Milho +Braq.	Soja	Milho + Braq.	Milho	Mil. + Braq.	Soja	
4	Milho	Soja	Aveia	Milho	Braq. + Erv.	Soja	
5	Girassol	Soja	Braq. + Crot.	Milho	Milheto	Soja	
6	Canola	Soja	Erv. +milho	Milho	Canola.	Soja	
7	Trigo	Soja	Canola	Milho	Aveia preta	Soja	
8	Nabo	Soja	Trigo	Milho	Cártamo	Soja	
9	Cártamo	Soja	Milho + Crot.	Milho	Aveia branca	Soja	
10	Trigo	Soja	Cártamo	Milho	Níger	Soja	
11	Crambe	Soja	Crot.	Milho	Erv. + Aveia	Soja	
12	Níger	Soja	Crambe	Milho	Crot.	Soja	
13	Trigo	Soja	Níger	Milho	Nab + Ave + Erv.	Soja	

Mil. = Milho; Braq. = Braquiária; Crot. = *Crotalaria juncea*; Erv. = Ervilhaca; Nab = nabo; Ave = Aveia.

Os tratamentos de outono/inverno foram semeados no mês de março, as culturas com produção de grãos foram cultivadas até a maturação fisiológica, posteriormente sendo colhidas. No período de floração, os tratamentos com braquiária, ervilhaca e *Crotalaria j.*, foram manejados com utilização do rolo faca. A braquiária foi dessecada em todos os sistemas em que foi cultivada.

O experimento foi implantado na área no mês de outubro de 2017 por meio de semeadura mecanizada. A variedade de soja utilizada foi a Monsoy 6410 IPRO, no espaçamento 0,45 m, com densidade de 13 sementes por metro. Foi realizada adubação básica de 400 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 05-25-06, e 140 kg ha<sup>-1</sup> de KCl a lanço 30 dias após a semeadura. Para o controle de plantas daninhas na área experimental, foi realizada aplicação do herbicida glifosato, na dose de 3 L ha<sup>-1</sup>, para o controle de percevejos foi aplicado o inseticida Tiametoxam + Lambda-Cialotrina na dose de 200 mL ha<sup>-1</sup>.

## 2.2 AQUISIÇÃO DO BANCO DE DADOS

Para a análise foliar, as folhas foram coletadas quando a cultura se encontrava no estágio R2, pleno florescimento, sendo o terceiro trifólio totalmente formado, a partir do ápice da planta (TECNOLOGIAS, 2013). Cada amostra foi composta por trinta folhas, coletadas aleatoriamente dentro das parcelas correspondentes.

Para a quantificação dos teores de nutrientes, após lavagem, as folhas foram submetidas a secagem em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de  $\pm 65^{\circ}\text{C}$  por 72h. O material foi moído por meio de moinho de rotação tipo ciclone (modelo TE-651/2) com peneira de 20 mesh, a fim de se obter material mais fino e uniforme para as análises. As análises químicas foram realizadas seguindo os procedimentos descritos por Malavolta et al. (1997).

A determinação da produtividade foi realizada por amostragem de duas linhas de 4,5 m comprimento. Foi determinada a massa de mil grãos e o teor de umidade, sendo o valor da umidade corrigido para 13%.

## 2.3 DETERMINAÇÃO DE SUBPOPULAÇÕES

Para a formação do banco de dados e determinação das subpopulações foram utilizados os teores totais de nutrientes contidos nas amostras foliares e suas respectivas produtividades. A separação das amostras em diferentes populações deve seguir um

critério, em que se tenha um ponto de corte mínimo entre as subpopulações. Para tal, foi empregado a distância de Mahalanobis e a partição de Cate-Nelson.

A distância de Mahalanobis (DM) pode ser utilizada como índice de equilíbrio nutricional (PARENT et al., 2009) e também permite a exclusão dos dados em desequilíbrio, sendo calculada através da matriz de covariância (COV) da seguinte maneira:

$$DM = \sqrt{(x - \bar{x})^T \text{cov}^{-1}(x - \bar{x})}$$

Na qual,  $x$  é a amostra a ser comparada;  $\bar{x}$  é a média da população em questão e COV a matriz de covariância da população referência.

A partição de Cate-Nelson, procedimento adotado neste trabalho, e que foi proposto por Nelson e Anderson (1971), divide o banco de dados em quatro diferentes grupos, maximizando a soma dos quadrados entre duas partições:

$$SQ = [(\sum X_i^2) / k + (\sum X_j^2) / (n - k)] - [(\sum X_i^2) / n]$$

$X_i$  = produtividade;  $X_j$  = conjunto de todas as observações amostrais;  $n$  = número de observações (decrecente);  $k$  = contagem elementar com início na primeira observação ordenada;  $j$  = número subsequente da contagem elementar.

O ponto crítico é determinado pelo maior valor de  $SQ$ , definindo o parâmetro dos valores para cada grupo. A classificação dos grupos é dada da seguinte forma:

- Verdadeiro Negativo (VN): amostras altamente produtivas classificadas corretamente como nutricionalmente equilibradas – população referência;
- Falso Positivo (FP): amostras altamente produtivas classificadas incorretamente como desequilibradas;
- Verdadeiro Positivo (VP): amostras de baixa produtividade, corretamente identificadas como desequilibradas, pelo menos um nutriente está causando desequilíbrio;
- Falso Negativo (FN): amostras de baixa produtividade, incorretamente identificadas como equilibradas, influência de fatores externos.

Posteriormente à divisão da população, foi aplicado o teste de precisão (PARENT et al., 2013), assim interpretado:

- Valor Preditivo Positivo (VPP): probabilidade de um diagnóstico de desequilíbrio retornar a um baixo desempenho –  $VP / (VP + FP)$ ;
- Valor Preditivo Negativo (VPN): probabilidade de um diagnóstico equilibrado retornar a um alto desempenho –  $VN / (VN + FN)$ ;
- Acurácia: probabilidade de uma observação ser corretamente identificada como equilibrada ou não –  $(VN + VP) / (VN + VP + FN + FP)$
- Especificidade: probabilidade de uma observação altamente produtiva estar equilibrada –  $VN / (VN + FP)$ ;
- Sensibilidade: probabilidade de uma observação de baixo desempenho estar desequilibrada –  $VP / (VP + FN)$ .

## 2.4 DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL (CND)

Para avaliação da composição nutricional, as concentrações dos macronutrientes de cada amostra foram transformadas de  $g\ kg^{-1}$  para  $mg\ kg^{-1}$ , a fim de padronizar as unidades dos teores de nutrientes, formando o banco de dados juntamente com as produtividades. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk (HAIR et al., 1995).

As normas CND foram calculadas segundo Parent e Dafir (1992), considerando o tecido foliar como um arranjo dimensional de nutrientes, sendo representado por  $d+1$  proporções, um *simplex* ( $S^d$ ), onde inclui um valor de enchimento e os nutrientes, definido por:

[1]

$$S^d = [(N, P, K, Ca, \dots, Rd); N > 0, P > 0, K > 0, Ca > 0, \dots, Rd > 0; N + P + K + Ca + \dots + Rd = 1.000.000]$$

O número 1.000.000 representa o valor total de matéria seca ( $mg\ kg^{-1}$ ), proporções de nutrientes e  $Rd$  (valor de enchimento), o qual é expresso por:

[2]

$$Rd = [1.000.000 - (N + P + K + Ca + \dots)]$$

Após serem divididos pela média geométrica ( $G$ ) do  $d+1$  componentes, contendo  $Rd$ , as proporções nutricionais tornam-se escala invariante (AITCHISON, 1986):

[3]

$$[N \times P \times K \times Ca \times \dots \times Rd]^{1/(d+1)}$$

As razões log centradas (CND-clr) são constituídas pelas seguintes equações:

[4]

$$VN = \ln\left(\frac{N}{G}\right); VP = \ln\left(\frac{P}{G}\right); VK = \ln\left(\frac{K}{G}\right); VCa = \ln\left(\frac{Ca}{G}\right); \dots; VRd = \ln\left(\frac{Rd}{G}\right)$$

A somatória das equações logarítmicas dos nutrientes deve satisfazer o seguinte termo:

[5]

$$VN + VP + VK + VCa + \dots + VRd = 0$$

As variáveis nutrientes ( $V$ ) consistiram do logaritmo neperiano ( $\ln$ ) do quociente entre a concentração de cada nutriente e a média geométrica das concentrações dos constituintes da matéria seca (KHIARI et al., 2001). As normas CND são calculadas pela diferença entre as  $V$  e as médias da população em questão ( $\bar{V}$ ), dividido pelo desvio-padrão ( $\sigma$ ) da mesma, como se segue:

[6]

$$IN = \frac{(VN - \bar{VN})}{\sigma N}; IP = \frac{(VP - \bar{VP})}{\sigma P}; IK = \frac{(VK - \bar{VK})}{\sigma K};$$

$$ICa = \frac{(VCa - \bar{VCa})}{\sigma Ca}; \dots; IRd = \frac{(VRd - \bar{VRd})}{\sigma Rd};$$

As normas CND, equações [6], são variáveis padronizadas e se tornam lineares com dimensões de um círculo ( $d + 1=2$ ), uma esfera ( $d + 1 = 3$ ), ou uma hipersfera ( $d + 1 > 3$ ), em um espaço tridimensional. Os índices de desbalanço de nutrientes diagnosticado (CND- $r^2$ ) assim é expresso:

$$CND-r^2 = IN^2 + IP^2 + IK^2 + ICa^2 + \dots + IRd^2$$

[7]

Os índices CND, independentes, devem ter distribuição de qui-quadrado ( $X^2$ ).

## 2.5 ANÁLISE DISCRIMINANTE MÚLTIPLA (ADM)

O procedimento teve como objetivo a seleção de combinações lineares (funções) de duas ou mais variáveis independentes. A função discriminante é dada por variáveis independentes métricas (contínuas) e a variável dependente (categórica) (JOHNSON e WICHERN, 2007). Neste trabalho, as variáveis independentes estão relacionadas com o índice geral CND- $r^2$ , distância de Mahalanobis e produtividade, e a variável dependente representa os grupos VN, VP, FN e FP, já descritos anteriormente.

Dentro desta análise foram aplicados testes de significância para verificar a existência de diferenças significativas entres populações. Por meio de correlações canônicas e autovalores, foi possível observar as variáveis com maior destaque e a discriminação dos grupos.

## 2.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

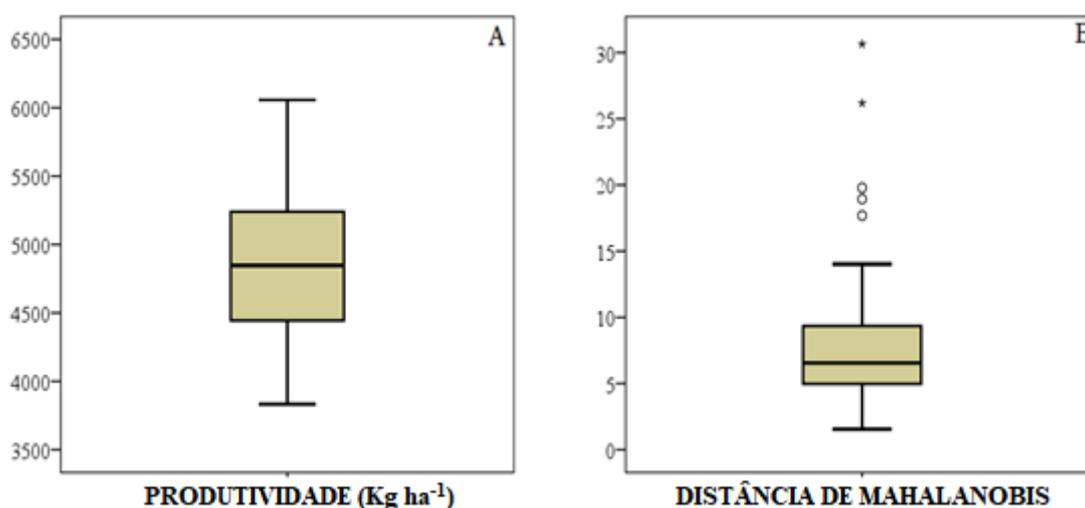
As análises estatísticas foram realizadas com a utilização do software estatístico SPSS® IBM® versão 23. Para auxílio no desenvolvimento dos índices CND foi feito o uso da planilha do EXCEL® (2010).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

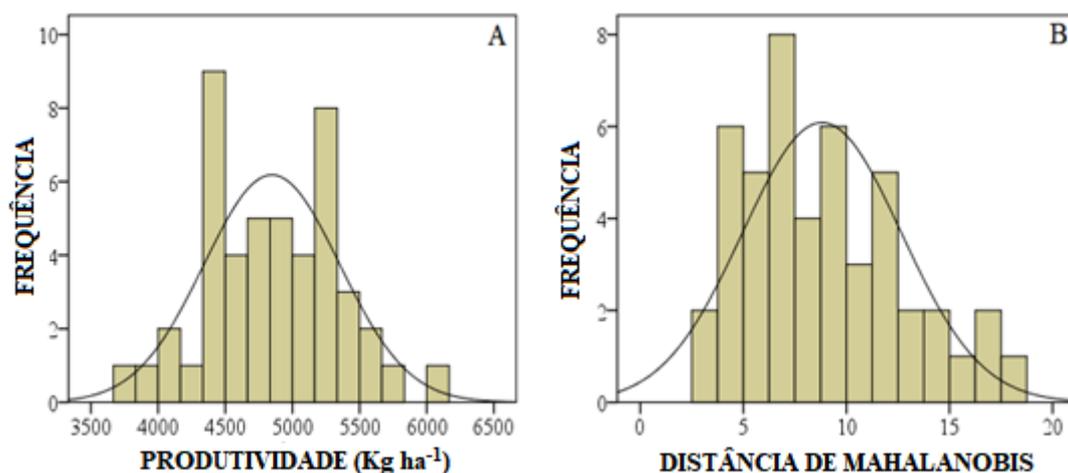
#### 3.1 AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL

O número total de amostras referente a área de rotação de culturas foi de 52, compostas pelos teores foliares e suas produtividades, esta última apresentando variação entre 6.056 e 3.832 kg ha<sup>-1</sup>, tendo desvio padrão de 487 kg ha<sup>-1</sup> e média de 4.854 kg ha<sup>-1</sup>. Para identificação e remoção de *outliers* (dados discrepantes) foi utilizada a distância de Mahalanobis (PARENT et al., 2009), utilizando os valores dos índices CND já transformados. Após análise refinada dos dados (Figura 2), 47 amostras representaram o banco de dados para as análises estatísticas e cálculos das normas CND. Desse total, 39%, ou seja, 18 parcelas representaram a subpopulação de alta produtividade e equilibradas nutricionalmente, com produtividade variando de 4.847 a 6.056 kg ha<sup>-1</sup>.

Posteriormente, para testar a normalidade dos dados, realizou-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, indicando a ocorrência de distribuição normal para distância de Mahalanobis ( $w = 0,954$ ;  $p = 0,833$ ) e produtividade ( $w = 0,988$ ;  $p = 0,893$ ) (Figura 3). A normalidade dos dados é um pré-requisito para a realização de inferências sobre parâmetros populacionais (CANTELMO e FERREIRA, 2007).

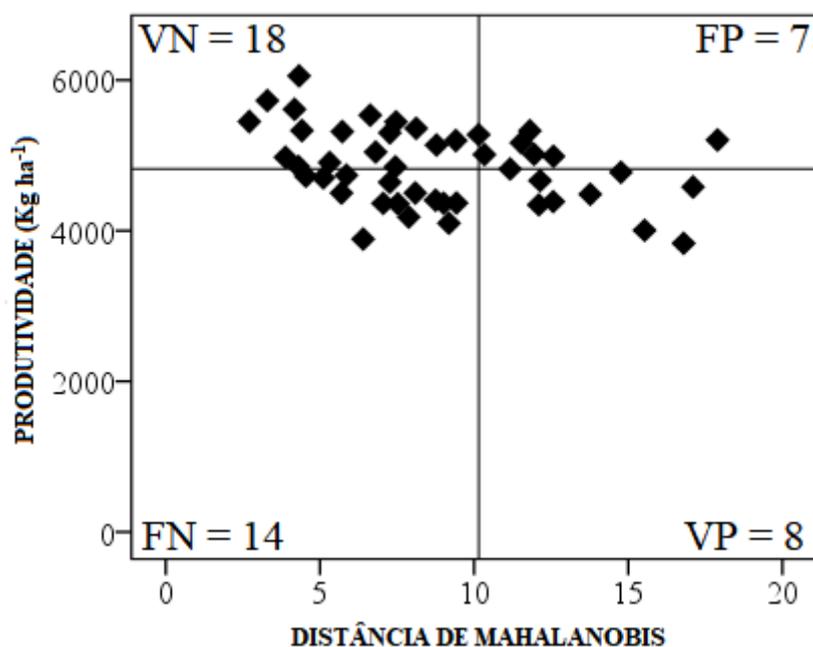


**FIGURA 2.** Identificação de *outliers* no banco de dados da área de rotação de culturas. (A) produtividade; (B) Distância de Mahalanobis



**FIGURA 3.** Histogramas após a remoção de *outliers*. (A) produtividade; (B) Distância de Mahalanobis.

Após as transformações dos dados (normas CND), a partição da população amostral em subpopulações de alta e baixa produtividade ocorreu pelo método de Cate-Nelson, discriminando amostras em equilíbrio ou desequilíbrio nutricional, calculado a partir da distância de Mahalanobis, originando quatro grupos distintos: verdadeiro negativo (VN), falso positivo (FP), falso negativo (FN) e verdadeiro positivo (VP) (Figura 4). O ponto de corte (valor crítico) para divisão dos grupos foi de 10,14 para a distância de Mahalanobis (DM) e para a produtividade foi de 4819,36 kg ha<sup>-1</sup>.



**FIGURA 4.** Partição de Cate-Nelson para os dados de análise foliar de soja sob rotação de culturas. VN = verdadeiro negativo; FP = falso positivo; FN = falso negativo; VP = verdadeiro positivo.

Dentro do sistema de rotação de culturas, o tratamento sob pousio não apresentou nenhuma amostra dentro da população altamente produtiva e nutricionalmente equilibrada (Quadro 3). Duas amostras foram agrupadas na população de baixa produtividade e desequilibrada, uma se enquadrou na população equilibrada, porém com baixa produtividade e a quarta na população de alta produtividade, mas nutricionalmente desequilibrada.

**QUADRO 3.** Detalhamento da divisão das amostras de soja cultivada em sistema de rotação de culturas dentro das populações VN, FN, VP e FP.

Populações	Tratamentos*													Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
VN <sup>1</sup>	-	2	1	1	1	3	2	2	1	1	2	-	2	18
FN	1	1	1	-	1	1	1	-	1	3	-	2	2	14
VP	2	1	-	2	-	-	-	2	-	-	1	-	-	8
FP	1	-	-	-	2	-	1	-	2	-	-	1	-	7
Total	4	4	2	3	4	4	4	4	4	4	3	3	4	47

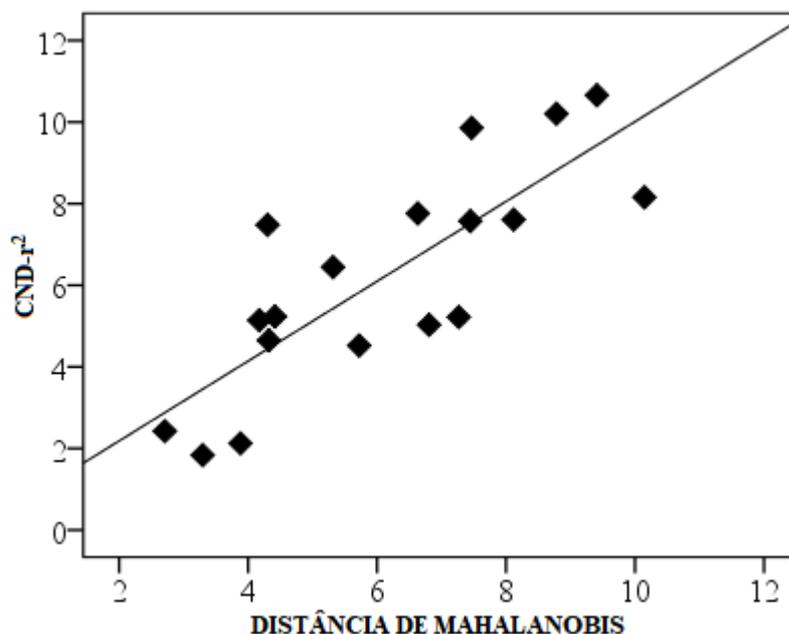
<sup>1</sup>População de referência; \*1: Pousio; 2: Milho; 3: Milho + Braquiária; 4: Braquiária + Ervilhaca; 5: Milheto; 6: Canola; 7: Aveia preta; 8: Cártamo; 9: Aveia branca; 10: Níger; 11: Ervilhaca + Aveia; 12: Crotalária; 13: Nabo + Aveia + Ervilhaca.

A distribuição das parcelas em pousio evidencia os efeitos positivos na produtividade e no equilíbrio nutricional da soja, ocasionado pela utilização de culturas alternativas no sistema de manejo. Os resultados destacam a importância dos sistemas de manejo conservacionistas, aliados a programas de adubação, na obtenção de altas produtividades e maior equilíbrio nutricional das culturas, quando relacionados aos manejos convencionais.

Segundo Fidelis (2003), a adoção de culturas alternativas, em sistema de rotação de culturas, favorece a fertilidade do solo, diminui a incidência de pragas e doenças e, além de outros fatores, contribui para o aumento da produtividade das culturas.

Contudo, vale ressaltar que a produtividade média das amostras da população de baixa produtividade e em desequilíbrio nutricional foi de 4384,29 kg ha<sup>-1</sup>, 21% maior que a produtividade média de Mato Grosso do Sul (IBGE, 2018) e similar a produtividade da população de referência adotada por Urano et al. (2007).

Segundo Parent et al. (2009), o desequilíbrio nutricional ( $CND-r^2$ ) de uma amostra é maior à medida que DM aumenta, ou seja, populações em equilíbrio nutricional devem apresentar menores DM. No presente estudo, a correlação entre o  $CND-r^2$  e a DM para a população de referência apresentou  $R^2 = 0,65$  ( $r = 0,75$ ;  $p = 0,00$ ) (Figura 5), com menores valores de  $CND-r^2$  e DM, indicando maior equilíbrio entre os nutrientes.



**FIGURA 5.** Correlação entre índice de equilíbrio nutricional ( $CND-r^2$ ) e distância de Mahalanobis (DM) na população de referência.

Levando em conta a partição de Cate-Nelson, 18 amostras foram classificadas como VN, diagnosticadas como nutricionalmente equilibradas e altamente produtivas (população de referência). Este grupo apresenta DM menor e produtividade maior que o ponto de corte (valor crítico); 8 amostras compreenderam a subpopulação classificada como desequilibrada e com baixa produtividade, ou seja, amostras que estão acima do ponto de corte para DM e abaixo para produtividade. A subpopulação VP representa amostras em que pelo menos um nutriente está causando desbalanço nutricional, seja por deficiência ou por excesso.

O grupo classificado incorretamente como equilibrado nutricionalmente e que apresenta baixa produtividade foi representado por 14 amostras; essa limitação produtiva pode ser ocasionada por efeitos aleatórios ou não nutricionais. A população de produtividade elevada, porém em desequilíbrio nutricional, o que pode indicar consumo de luxo ou alta eficiência no uso de nutrientes apresentou 7 amostras (Quadro 4).

**QUADRO 4.** Divisão das amostras foliares de soja e teste de diagnóstico para seleção da população de referência.

Grupo	Frequência	Teste Diagnóstico	
VN	18	VPN	0,56
FP	7	VPP	0,53
FN	14	Acurácia	0,55
VP	8	Especificidade	0,72
-	-	Sensibilidade	0,36

VN = Verdadeiro negativo; FP = Falso positivo; FN = Falso negativo; VP = Verdadeiro positivo; VPN = Valor preditivo negativo; VPP = Valor preditivo positivo.

Diferentemente do procedimento adotado neste trabalho, Urano et al. (2006), trabalhando com amostras foliares de soja, definiram a subpopulação de alta produtividade aquelas que apresentassem rendimento superior à média + 0,5 desvio-padrão. Nowaki et al. (2017), com tomateiro, empregaram o procedimento de Cate-Nelson na divisão das subpopulações, resultando em faixas de suficiências diferentes das obtidas utilizando outros critérios de divisão populacional.

Após a definição das populações em diferentes grupos, para teste de diagnóstico, foram calculados os parâmetros de acurácia, especificidade, sensibilidade, valor preditivo negativo (VPN) e valor preditivo positivo (PPV). Ainda no Quadro 4, observa-se que a análise obteve acurácia de 55%, sendo a probabilidade de ser identificada corretamente como equilibrada ou desequilibrada. A probabilidade das amostras com alta produtividade, acima de 4.819 kg ha<sup>-1</sup>, serem classificadas como equilibradas nutricionalmente foi de 72%.

Das observações feitas, a probabilidade de uma amostra de baixa produtividade estar desequilibrada foi de 36%. Este resultado pode indicar interferência de fatores não nutricionais, como clima, pragas ou doenças. Importante ressaltar que a produtividade mínima para a população de referência (VN) está muito acima da média alcançada pelos produtores brasileiros na safra 2017/18, que, segundo o levantamento do IBGE (2018) foi de 3.378 kg ha<sup>-1</sup>.

As normas CND foram obtidas a partir das variáveis nutrientes, sendo estas relacionadas a população de alta produtividade (VP). Os valores das médias e desvios-padrão das variáveis e do constituinte da matéria seca (G) das amostras foliares estão apresentados no Quadro 5.

**QUADRO 5.** Normas CND (média e desvio-padrão) para a população de alta produtividade de soja cultivada sob sistema de rotação de culturas.

Variável nutriente	Média	Desvio Padrão
<i>G</i>	2940,322	325,70
VN	2,837	0,150
VP	0,603	0,099
VK	2,056	0,095
VCa	1,282	0,092
VMg	0,286	0,062
VS	-0,029	0,068
VCu	-5,306	0,141
VMn	-3,254	0,099
VZn	-4,212	0,103

*G* = Média geométrica dos componentes nutricionais.

Realizando a regressão linear simples sobre produtividade e índices CND (Quadro 6), observou-se baixos valores de  $R^2$  para os índices, analisados separadamente, mostrando que um único nutriente não seria responsável pela produtividade. O coeficiente de determinação entre o índice CND- $r^2$  de todas as amostras com a produtividade apresentou  $R^2 = 0,17$ , o baixo valor observado no  $R^2$  demonstra a interferência de fatores não nutricionais na produtividade. Resultados semelhantes foram encontrados por Nowaki (2017), para tomate industrial e por Wadt et al. (2016a) para feijão-caupi, os baixos valores das correlações evidenciaram a ação de fatores externos na produtividade.

**QUADRO 6.** Regressão linear de produtividade sobre índices CND das variáveis nutrientes.

<i>I</i> -CND	Equação	$R^2$
<i>IN</i>	$\hat{y} = -3,5824 + 0,0007x$	0,06
<i>IP</i>	$\hat{y} = 2,0834 - 0,0004x$	0,04
<i>IK</i>	$\hat{y} = 1,4169 - 0,0003x$	0,03
<i>ICa</i>	$\hat{y} = -4,0892 + 0,0007x$	0,07
<i>IMg</i>	$\hat{y} = -1,7181 + 0,0003x$	0,01
<i>IS</i>	$\hat{y} = 1,3852 - 0,0002x$	0,01
<i>ICu</i>	$\hat{y} = 2,3351 - 0,0004x$	0,02
<i>IMn</i>	$\hat{y} = 2,3992 - 0,0004x$	0,02
<i>IZn</i>	$\hat{y} = 0,8803 - 0,0002x$	0,01
<i>CND-r<sup>2</sup></i>	$\hat{y} = -0,0051x + 34,621$	0,17

<sup>1</sup>Modelo estatístico da análise de regressão dos índices de nutrientes (CND) com a produtividade.

Através dos índices CND, é possível estabelecer os níveis críticos, correspondendo aos teores adequados de cada nutriente no tecido vegetal, para tal, os índices de cada equação foram igualados a zero. Os modelos de regressão de relações entre os índices CND gerados a partir das variáveis nutriente com seus respectivos teores nas amostras estão no Quadro 7. Urano et al. (2006), analisando os teores nutricionais em folhas de soja, estabeleceram normas CND, baseadas na população de alta produtividade, com valores muito próximos dos elaborados neste estudo. Deve-se destacar que os teores de nutrientes, assim como o nível crítico estimados nesta pesquisa fazem referência a um elevado potencial produtivo, representado por amostras com produtividade superior a 4819,36 kg ha<sup>-1</sup>.

**QUADRO 7.** Modelos de regressão das relações entre os Índices CND e os teores de nutrientes das amostras foliares de soja cultivada em sistema de rotação de culturas.

Nutriente	Equação <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	NC*
			---g kg <sup>-1</sup> ---
N	$\hat{y} = -6,3485 - 0,0006x^2 + 0,1608x$	0,80	48,14
P	$\hat{y} = -11,928 - 0,2485x^2 + 3,5802x$	0,60	5,3
K	$\hat{y} = -7,2378 - 0,0061x^2 + 0,4452x$	0,60	23,8
Ca	$\hat{y} = 22,057 + 0,2443x^2 - 4,7017x$	0,55	10,6
Mg	$\hat{y} = 58,292 + 4,1087x^2 - 31,077x$	0,36	3,9
S	$\hat{y} = -1,7273 + 0,3208x^2 - 0,2787x$	0,69	2,8
			---mg kg <sup>-1</sup> ---
Cu	$\hat{y} = 4,454\ln(x) - 11,749$	0,93	14,2
Mn	$\hat{y} = -6,6863 - 9E-05x^2 + 0,0713x$	0,78	109,3
Zn	$\hat{y} = -1,6561 + 0,001x^2 - 0,0113x$	0,69	44,6

<sup>1</sup>Modelo estatístico da análise de regressão dos teores de nutrientes com os respectivos índices CND; \*Nível crítico.

Para o banco de dados do estudo em questão, os valores encontrados, considerados adequados (NC), foram muito semelhantes aos encontrados na literatura (Quadro 8). Avaliando diferentes métodos de análise do estado nutricional de soja, Urano et al. (2006) obtiveram valores para faixa de suficiência diferentes, indicando que a metodologia de estudo também interfere nos valores encontrados.

A disponibilidade e absorção de nutrientes dependem de diversos fatores, entre eles, o tipo de solo, concentração e equilíbrio entre a fração trocável e a solução do solo e teor de pH (MALAVOLTA, 2006).

**QUADRO 8.** Faixa de suficiência adequada para macro e micronutrientes em folhas de soja por diferentes autores.

Referências	N	P	K	Ca	
	----- g kg <sup>-1</sup> -----				
Embrapa (2008)	45,0 – 55,0	2,5 – 5,0	17,0 – 25,0	3,5 – 20,0	
Kurihara et al. (2013)	50,6 – 56,5	2,8 – 3,3	14,4 – 17,2	6,2 – 8,9	
Urano et al. (2006)	37,0 – 44,2	2,8 – 3,2	21,1 – 25,2	10,0 – 13,2	
Raij et al. (1997)	40,0 – 54,0	2,5 – 5,0	17,0 – 25,0	4,0 – 20,0	
Referências	Mg	S	Cu	Mn	Zn
	----- g kg <sup>-1</sup> -----		----- mg kg <sup>-1</sup> -----		
Embrapa (2008)	2,5 – 10,0	2,0 – 4,0	6 - 14	20 - 100	20 -50
Kurihara et al. (2013)	3,0 – 3,8	2,4 – 2,9	7,0 – 9,0	38,0 – 63,0	41,0 – 56,0
Urano et al. (2006)	2,6 – 3,8	2,0 – 2,7	7,4 – 11,4	44,7 – 69,6	43,6 – 69,9
Raij et al. (1997)	3,0 – 10,0	2,1 – 4,0	10,0 – 30,0	20,0 – 100	20,0 – 50,0

Com base nas faixas de suficiência disponíveis na literatura (EMBRAPA, 2008; URANO et al., 2007; KURIHARA et al., 2013; RAIJ et al., 1997), o estudo em questão apresentou faixas, calculadas através dos intervalos de confiança (PARENT et al., 2013), com intervalos mais estreitos (Quadro 9). A utilização de intervalos com menores amplitudes permite uma interpretação mais rigorosa das análises (SERRA et al., 2010), reduzindo a probabilidade de amostras em desequilíbrio serem classificadas como nutricionalmente equilibradas.

**QUADRO 9.** Faixa de suficiência para de nutrientes no tecido foliar de soja cultivada sob rotação de culturas.

Nutriente	FS		
	Mínimo	Máximo	Ótimo
	----- g kg <sup>-1</sup> -----		
N	47,58	51,13	48,14
P	5,13	5,56	5,3
K	22,90	24,85	23,8
Ca	10,30	11,03	10,6
Mg	3,77	4,04	3,9
S	2,69	2,90	2,8
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----		
Cu	13,81	14,80	14,2
Mn	106,10	114,60	109,3
Zn	42,80	46,40	44,6

FS: faixa de suficiência, calculada conforme proposto por Parent et al. (2013), a partir do intervalo de confiança ( $p \leq 0,05$ ).

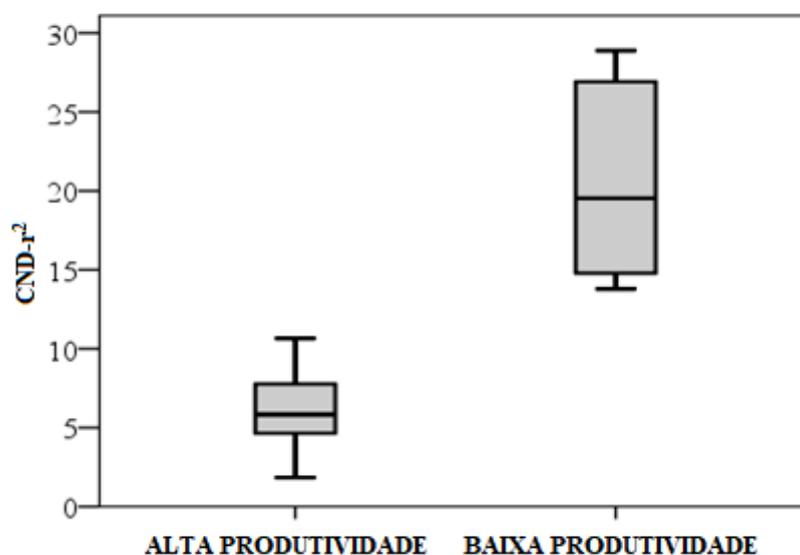
Quando comparadas as médias dos teores nutricionais das subpopulações VN e VP com a FS, observam-se os teores da subpopulação VP em desequilíbrio, o que, somado a fatores não nutricionais, evidenciam a baixa produtividade em relação a VN (Quadro 10).

**QUADRO 10.** Teores de nutrientes nas subpopulações VN e VP e Faixa de suficiência.

Nutriente	Médias da Subpopulação		Faixa de suficiência	
	VN	VP		
	----- g kg <sup>-1</sup> -----			
N	50,40	52,67	47,58	51,13
P	5,36	5,02	5,13	5,56
K	22,94	28,5	22,90	24,85
Ca	10,55	11,00	10,30	11,03
Mg	3,90	3,65	3,77	4,04
S	2,85	2,98	2,69	2,90
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----			
Cu	14,72	15,77	13,81	14,80
Mn	113,71	115,53	106,10	114,60
Zn	43,56	53,95	42,80	46,40

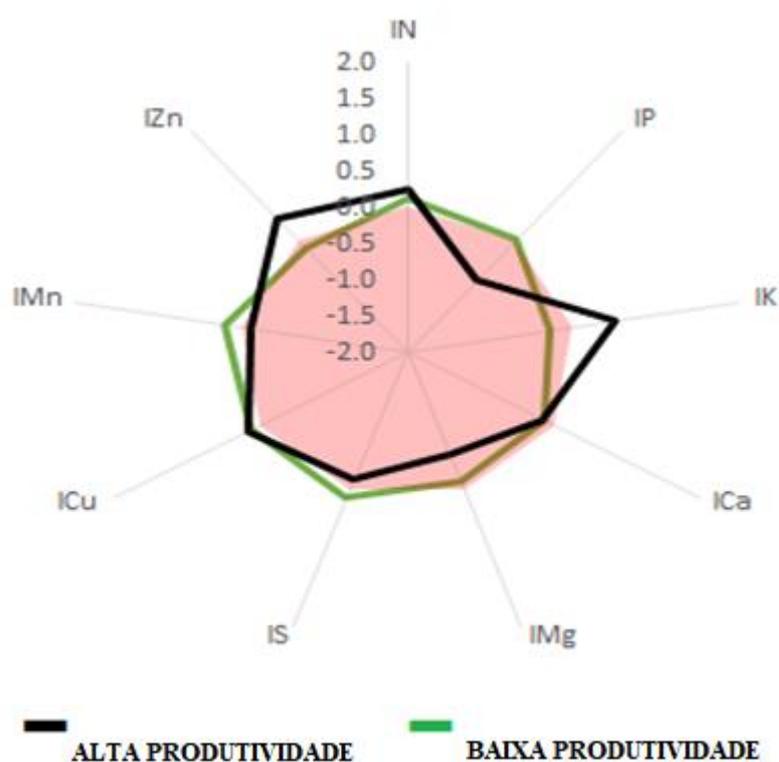
VN = Verdadeiro negativo; VP = Verdadeiro positivo.

O somatório dos quadrados dos índices dos nutrientes para cada amostra gera o índice CND-r<sup>2</sup> da mesma, o qual representa o estado nutricional atual da parcela. O índice geral de equilíbrio (CND-r<sup>2</sup>) na população de baixa produtividade foi de 20,6, enquanto o da população de alta produtividade foi de 6,2, comprovando que, à medida que o índice geral aumenta, maior é o desequilíbrio nutricional da amostra (Figura 6).



**FIGURA 6.** Boxplot para o CND-r<sup>2</sup>, em relação às populações de alta e baixa produtividade em sistema de rotação de culturas.

A média dos índices CND das populações de alta e baixa produtividade são apresentados na Figura 7. Através dos índices CND é possível identificar quais são os nutrientes causadores dos desequilíbrios, sejam eles por falta ou excesso. Este comportamento pode ser observado pelos valores encontrados, quando negativos, representam a carência, quando positivos, a demasia. O desequilíbrio tende a ser menor a medida que estes valores se aproximam de zero. Para a população de baixa produtividade, os nutrientes que apresentam desequilíbrio, sendo limitantes por deficiência são P e Mg, já os nutrientes em excesso N, K e Zn.



**FIGURA 7.** Ordem de equilíbrio nutricional das populações de alta e baixa produtividade. Índices nutrientes (IN; IP; IK; ICa; IMg; IS; ICu; IMn; IZn).

### 3.2 VALIDAÇÃO DA PARTIÇÃO CATE-NELSON

Partindo da divisão das amostras em diferentes grupos por meio da partição de Cate-Nelson, foi realizada a análise de discriminante múltipla, considerando as variáveis CND- $r^2$ , DM e produtividade como características quantitativas, a fim de verificar a dispersão do conjunto de dados.

O resultado da análise de variância dos testes de igualdade de médias entre os grupos encontra-se no Quadro 11. A hipótese de nulidade ( $H_0$ ) é a de que os vetores das médias dos grupos são iguais, o resultado significativo obtido no teste, representado pelo valor de Lambda de Wilks ( $\Lambda$ ) – quanto menor o valor de  $\Lambda$ , maior a significância - indica que existe diferença entre as médias dos grupos para as três variáveis. Além da distribuição normal dos dados, a homogeneidade das matrizes de covariância é um pressuposto da análise discriminante, esta homogeneidade foi confirmada pela estatística M de BOX (Quadro 12).

**QUADRO 11.** Teste de igualdade de médias entre grupos.

Variável	Lambda de Wilks	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
CND- $r^2$	0,300	33,446	0,000**
Distância de M.	0,264	39,891	0,000**
Produtividade	0,291	34,961	0,000**

\*\*significativos à 1% de probabilidade.

**QUADRO 12.** Teste M de Box entre matrizes de covariância dos grupos pré estabelecidos.

Teste		<i>Sig.</i>
M de Box	48,059	0,003 <sup>ns</sup>
<i>F</i>	2,243	

<sup>ns</sup> não significativo.

A distribuição das amostras dentro de cada grupo, previamente estabelecidos, se dá por meio das funções discriminantes geradas (Quadro 13). A primeira função explica 64,7% da variância total nos dados, com correlação canônica de 0,896, demonstrando grau de associação elevado com os grupos. Analisadas em conjunto, a terceira função não apresentou valor significativo, ou seja, não discrimina os grupos segundo os critérios avaliados.

**QUADRO 13.** Sumarização de funções discriminantes canônicas para amostras foliares de soja cultivada em sistema de rotação de culturas.

Função	Autovalor	% de Variância	% cumulativa	C. Canônica
1	4,074	64,7	64,7	0,896
2	2,003	31,8	96,6	0,817
3	0,217	3,4	100,0	0,422
Teste de funções		Lambda de Wilks		Sig.
1 até 3		0,054		0,000**
2 até 3		0,274		0,000**
3		0,822		0,004 <sup>ns</sup>

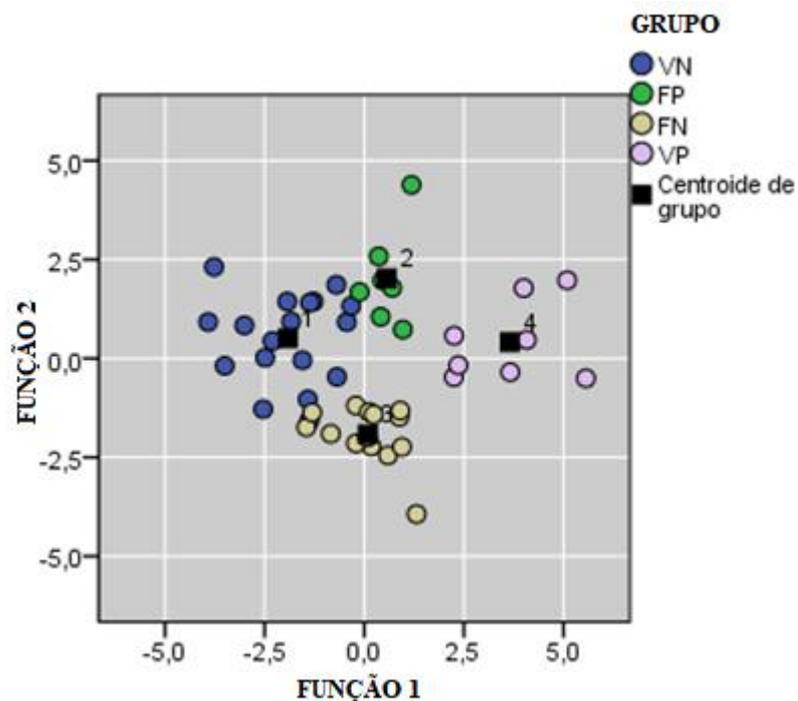
\*\*significativos à 1% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo.

As observações da distribuição das parcelas por meio da classificação *a priori* e pela originada através das funções discriminantes estão apresentadas no Quadro 14. Como resultado da análise, utilizando-se das variáveis CND-r<sup>2</sup>, DM e Produtividade como características para discriminação entre grupos, 93,5% dos casos agrupados originalmente foram classificados corretamente. Sabará (2018) aplicando a análise discriminante na identificação do percevejo marrom em lavouras de soja obteve 95% de acerto nas classificações.

**QUADRO 14.** Distribuição das observações a priori e por meio das funções discriminantes.

Classificação <i>a priori</i>	Associação ao grupo predita				Total
	1	2	3	4	
1	15	2	1	0	18
2	0	7	0	0	7
3	0	0	14	0	14
4	0	0	0	8	8
Total	15	9	15	8	47

A Figura 8 representa o agrupamento com base na primeira e segunda função discriminante. À medida que os dados analisados de cada conjunto se aproximam e a distância entre os centroides dos grupos aumenta, maior é a precisão da discriminação, resultado de uma melhor maximização das funções discriminativas.



**FIGURA 8.** Dispersão gráfica das observações a priori e por meio das funções discriminantes para o banco de dados da área de rotação de culturas. Função 1: 64,7%; Função 2: 31,8%.

#### 4. CONCLUSÃO

Os índices CND dos nutrientes, obtidos a partir de normas CND desenvolvidas, permitiram avaliar o estado nutricional da soja cultivada em sistemas de rotação de culturas, evidenciando os nutrientes em excesso, deficiência e em equilíbrio.

Os teores de nutrientes considerados adequados para a soja em sistema de rotação com produtividade acima de 4819,36 kg ha<sup>-1</sup> são, em g kg<sup>-1</sup>: N = 47,6 – 51,1; P = 5,1 – 5,6; K = 22,9 – 24,8; Ca = 10,3 – 11,0; Mg = 3,7 – 4,0; S = 2,6 – 2,9; em mg kg<sup>-1</sup>: Cu = 13,8 – 14,8; Mn = 106,1 – 114,6 e Zn = 42,8 – 46,4.

Os nutrientes que apresentaram desequilíbrio, relacionados as populações de baixa produtividade, sendo limitantes por deficiência são P e Mg, já os nutrientes em excesso N, K e Zn.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BRANDT, E. A. **Desempenho agrônômico de soja em função de rotação ou sucessão de culturas em plantio direto**. 2002. 44f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Dourados-MS.

CANTELMO NF; FERREIRA DF; 2007. Desempenho de testes de normalidade multivariados avaliado por simulação monte carlo. **Ciência e Agrotecnologia** 31: 1630-1636.

CATE, R.B.; NELSON, L.A. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. **Soil Science Society of America Journal**, v. 35, p. 658 - 660, 1971.

DA SILVA, N. F.; CLEMENTE, G. S.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; CUNHA, F. N.; DA SILVA AZEVEDO, L. O.; DOS SANTOS, M. A. Avaliação nutricional na fase vegetativa da cultura da soja. **Global Science and Technology**, v. 10, n. 3, 2018

DE JESÚS LACERDA, J. J.; DE RESENDE, Á. V.; NETO, A. E. F.; HICKMANN, C.; DA CONCEIÇÃO, O. P. Adubação, produtividade e rentabilidade da rotação entre soja e milho em solo com fertilidade construída. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 9, p. 769-778, 2015.

EMBRAPA, Soja. Tecnologias de produção de soja - Região Central do Brasil 2014. Londrina: **Embrapa Soja**, 2013. 265 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 16).

FIDELIS, R. R.; ROCHA, R. N. C.; LEITE, U. T.; TANCREDI, F. D. Alguns aspectos do plantio direto para a cultura da soja. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.19, n.1, p.23-31, 2003.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M.; DEBIASI, H. Rotação de culturas: prática que confere maior sustentabilidade a produção agrícola no Paraná. **Inf. Agron**, v. 134, p. 1-13, 2011a.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M.; DEBIASI, H.; TORRES, E. Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná. **Embrapa Soja-Documentos (INFOTECA-E)**, 2011b.

HAIR, J. F. Jr.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Multivariate Data Analysis (with readings)**, 4 ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1995.

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

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria>> Acesso em: 22 jan. 2019.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. New Jersey: Prentice-Hall, 2007. 773p

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.

KURIHARA, C. H. **Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional**. 2004. 101p. Tese de Doutorado (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

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

MAEDA, S. RONZELLI JUNIOR, P. Valores de referência do DRIS para a soja, cultivares EMBRAPA 59 e BR 37, em Carambeí – Paraná. **Scientia Agrária**, Colombo, v. 5, n. 1-2, p. 21-28, 2004.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: princípios e aplicações**. 2 ed., Potafos, Piracicaba, 1997. 319 p.

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

MARSCHNER P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. London, Academic Press, 2012. 651p.

MARTINS, A. P.; DE ANDRADE, S. E. V. G., ANGHINONI, I., K. T. R.; CECAGNO, D.; REICHERT, J. M.; DE FACCIO CARVALHO, P. C. Umidade do solo e fisiologia a soja afetados por estiagem em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 8, p. 978-989, 2016.

NOWAKI, R. H. D. **Padrões para avaliação do estado nutricional do tomateiro para indústria**. 2017. 123f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal-SP.

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.É.; ISFAN, D.; TREMBLAY, N.; KARAM, A. Multivariate nutrient diagnosis is of the carrot crop. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. v. 119, p. 420-426, 1994.

PARENT, L.É.; KHIARI, L. The Compositional Nutrient Diagnosis of Onions. **Acta Horticulturae**, v. 627, p. 251-258, 2003.

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.**, Ottawa, v. 89, p. 383-390, 2009.

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, p. 1-12, 2013.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Mapa do mundo atualizada do Köppen-Geiger Classificação climática. **Hydrol. Terra Syst. Sci**, v. 11, p. 1633-1644, 2007.

PEREIRA, C. S.; TRENTIN FILHO, M. G.; FIORINI, I. V. A.; PEREIRA, H. D.; ROCHA, J. R.; LANGE, A. Formas e estádios de aplicação de adubação nitrogenada no desenvolvimento e produtividade da soja. *Revista Agrogeoambiental*, v. 10, n. 4, 2019.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285 p. **Boletim técnico**, v. 100.

RIBEIRO, L. M.; SANTOS, A. L.; LEITE, E. M.; KROLIKOWSKI, V.; FACHINELLI, R.; CECCON, G. Produtividade de milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária em lavouras de Mato Grosso do Sul. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 13., 2015, Maringá. **Anais...** Maringá, UEM, 2015. p. 1-5.

ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; MAULI, M. M.; DE LIMA, G. P.; PACHECO, F. P. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 221-230, 2017.

SABARÁ, H. H. R. **O uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) na identificação do percevejo marrom em lavouras de soja usando técnicas de reconhecimento de padrões e aprendizado de máquinas**. 2018. 76f. Dissertação (Mestrado em Inovações Tecnológicas) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão-PR.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, J. B. Sistema brasileiro de classificação de solos [Brazilian system of soil classification]. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (3th ed), Brasília, Brazil**, 2013.

SERRA, A. P. et al. 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.

SFREDO, G. J. **Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral**. Londrina: Embrapa Soja, 2008.

SILVA, T. O. da; FURTINI NETO, A. E.; CARNEIRO, L. F.; PALUDO, V. Plantas de cobertura submetidas a diferentes fontes de fósforo em solos distintos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1315-1326, 2011.

SOUZA, A. das G. C. de; BERNI, R. F.; SOUZA, M. D. de; SOUSA, N. R. V. S.; SILVA, S. E. L. da; TAVARES, A. M.; ANDRADE, J. de S.; BRITO, M. A. M. de; SOARES, M. S. da C. **Boas práticas agrícolas da cultura do cupuaçuzeiro**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2007. 56 p.

TOLOSANA-DELGADO, R.; VAN DEN BOOGART, K. G. “Linear models with compositions in R” in **Compositional Data Analysis: Theory and Applications**, eds V. Pawlowsky-Glahn and A. Buccianti. New York: John Wiley and Sons, p. 356–371. 2011.

URANO, E. O. M.; KURIHARA, C. H.; MAEDA, S.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C.; MARCHETTI, M. E. Avaliação do estado nutricional da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, DF, v. 4, p. 1421-1428, 2006.

URANO, E. O. M.; KURIHARA, C. H.; MAEDA, S. VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C.; MARCHETTI, M. E. Determinação de teores ótimos de nutrientes em soja pelos métodos chance matemática, sistema integrado de diagnose e recomendação e diagnose da composição nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 63-72, 2007.

WADT, P. G. S.; SILVA, L. M. Faixa de suficiência e definição da posição da folha na avaliação do estado nutricional de pimenta-longa. **Científica**, Jaboticabal, v. 44, n. 3, p.431-438, 2016a.

## **CAPÍTULO II – DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL (CND) PARA A CULTURA DA SOJA NO CONSÓRCIO MILHO COM FORRAGEIRAS.**

**RESUMO:** A avaliação do estado nutricional é uma importante ferramenta para identificação do desequilíbrio de nutrientes nos cultivos, caracterizando os excessos e/ou deficiências e auxiliando no melhor manejo dentro dos programas de adubação. Objetivou-se com este trabalho desenvolver normas de composição nutricional e avaliar o estado nutricional da cultura da soja (*Glycine max* L.) cultivada em sucessão ao consorcio milho com forrageiras. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias, pertencente à Universidade Federal da Grande Dourados. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 16 tratamentos e quatro repetições, totalizando 64 parcelas. As amostras foliares, colhidas em cada parcela, foram compostas por 30 folhas (terceiro trifólio totalmente expandido) coletadas no estágio R2. A divisão da população foi realizada pelo método de Cate-Nelson, originando quatro subpopulações mediante a produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e o equilíbrio nutricional, este sendo calculado por meio da Distância de Mahalanobis. As normas CND foram elaboradas considerando a população de referência, abrangendo as amostras altamente produtivas e nutricionalmente equilibradas. A população de referência foi formada por 19 amostras. Com base nessa população foram estimados os níveis críticos de nutrientes, assim como faixas de suficiências. Os teores de nutrientes considerados adequados são, em  $\text{g kg}^{-1}$ : N = 44,9 – 48,0; P = 6,3 – 7,0; K = 17,2 – 18,6; Ca = 9,4 – 10,1; Mg = 3,6 – 3,9; S = 2,8 – 3,1; em  $\text{mg kg}^{-1}$ : Cu = 13,8 – 14,9; Mn = 76,9 – 83,6 e Zn = 35,3 – 38,1. Os nutrientes que apresentaram desequilíbrio, relacionados as populações de baixa produtividade, limitantes por deficiência foram P, K Cu e Zn, e por excesso N, Ca e Mg. Após a estimação das faixas de suficiência, foi realizada a análise discriminante múltipla, obtendo 96,3% de precisão na classificação dos grupos preditos.

**Palavras-chave:** avaliação do estado nutricional, equilíbrio nutricional, teores de nutrientes.

## **CHAPTER II - COMPOSITIONAL NUTRIENT DIAGNOSIS (CND) FOR THE CULTURE OF SOYBEAN IN MAIZE INTERCROPPING WITH FORAGE.**

The evaluation of nutritional status is an important tool to identify the imbalance of nutrients in crops, characterizing the excesses and / or deficiencies and helping in the best management within the programs of fertilization. The objective of this work was to develop standards of nutritional composition and to evaluate the nutritional status of soybean (*Glycine max* L.) grown in maize intercropping with forage. The experiment was conducted at the Experimental Farm of the Faculty of Agrarian Sciences, belonging to the Federal University of Grande Dourados. The experimental design was a randomized complete block with 16 treatments and four replications, totaling 64 plots. The leaf samples collected in each plot were composed of 30 leaves (third fully expanded trifolium) collected in the R2 stage. The population distribution was performed using the Cate-Nelson method, giving rise to four subpopulations through productivity (kg ha<sup>-1</sup>) and nutritional balance, which was calculated using the Mahalanobis Distance. The CND standards were elaborated considering the reference populations, covering the highly productive and nutritionally balanced samples. The reference population consisted of 19 samples. Based on this population, critical nutrient levels were estimated as well as ranges of sufficiency. The levels of nutrients considered suitable are, in kg kg<sup>-1</sup>: N = 44.9 – 48.0; P = 6.3 – 7.0; K = 17.2 – 18.6; Ca = 9.4 – 10.1; Mg = 3.6 – 3.9; S = 2.8 – 3.1; in mg kg<sup>-1</sup>: Cu = 13.8 – 14.9; Mn = 76.9 – 83.6 e Zn = 35.3 – 38.1. The nutrients that presented imbalance, related to populations of low productivity, being limiting by deficiency are P, K, Cu and Zn, and the nutrients in excess N, Ca and Mg. After the estimation of the sufficiency ranges, the multiple discriminant analysis was performed, obtaining a precision of 96.3% in the classification of the groups predicted for crop rotation systems.

**Key words:** nutritional status assessment, nutritional balance, nutrient content.

## 1. INTRODUÇÃO

Novos conceitos de sistemas de produção agrícola, baseados na conservação do solo, diversificação de culturas, reciclagem de nutrientes, uso sistemático de adubos orgânicos e outras práticas alternativas têm sido desenvolvidos na tentativa de equilibrar a produtividade com a conservação do meio ambiente.

Visando agregar as atividades agrícolas e pecuárias, favorecer a manutenção dos resíduos culturais e aumentar a produção de palha para a cobertura do solo, o consórcio de milho com forrageiras é um importante sistema de produção que possibilita maior sustentabilidade ao meio ambiente, maior eficiência na utilização dos recursos naturais, além de ser um sistema de produção economicamente viável (VERNETTI JUNIOR et al., 2009; PEREIRA et al., 2014; GARCIA et al., 2015;). Este sistema vem ganhando espaço no cenário agrônômico, pois proporciona efeitos benéficos para os cultivos em sucessão (DA COSTA et al., 2010; CECCON et al., 2013).

A consorciação de culturas é baseada no cultivo simultâneo de duas ou mais espécies de plantas, em um mesmo local, implementadas na mesma época ou num intervalo de tempo reduzido, em que haja interação entre elas e o ambiente durante seus ciclos de vida (PORTES et al., 2003). Este cultivo simultâneo, além de favorecer a cobertura do solo por um maior período, inibe a presença de plantas daninhas de difícil controle no ano em que é cultivado (MECHI et al., 2018).

A implementação e condução de um sistema de consórcio exigem maior conhecimento da cadeia produtiva e melhor planejamento das atividades, o manejo inadequado do sistema pode afetar negativamente as culturas. Neste sentido, CHIODEROLI et al. (2016) avaliando o desempenho operacional do conjunto trator-semeadora sobre a palhada de milho consorciado com braquiária concluíram que maiores quantidades de palha interferiam na operação de semeadura da soja. Ceccon et al. (2015) observaram que a redução do espaçamento entre plantas de *Brachiaria ruziziensis* no consórcio com milho, e conseqüente aumento da população da forrageira, diminuiu o número de espigas produzidas por planta.

A implementação adequada e a boa condução e execução das atividades dentro do sistema pode interferir positivamente no desempenho agrônômico da soja cultivada em sucessão (CHIODEROLI et al., 2012; ALVES et al., 2014). A semeadura das culturas seguintes, quando realizada em seguida a dessecação das pastagens, pode ser dificultada dependendo da quantidade de palhada na área (FRANCHINI et al., 2015).

O consórcio é uma importante ferramenta de êxito produtivo, acarretando diversos benefícios quando bem planejada e executada. Quando comparado com o plantio de milho solteiro, a adoção deste sistema de manejo, no outono/inverno, resulta em maiores teores de carbono orgânico total, lábil e particulado (FACCIN et al., 2016), estão a otimização e intensificação da ciclagem de nutrientes no solo, melhoria da qualidade do solo e menor pressão para abertura de novas áreas (BEHLING, 2013).

Mendonça et al. (2013) observaram que o consórcio de milho com forrageiras em sucessão com soja resultou na melhoria dos atributos físicos do solo em diferentes profundidades, atribuída a redução da densidade do solo e ao aumento da macroporosidade e porosidade total. Chioderoli et al. (2012) avaliando os atributos físicos do solo e a produtividade da soja, concluíram que a consorciação milho e braquiária proporcionou aumento na macroporosidade e porosidade total do solo, além de maiores produtividades da soja.

O conhecimento da fertilidade do solo, bem como práticas adequadas de manejo nutricional, aliados a fatores climáticos e fitossanitários, se torna imprescindível para a obtenção de sucesso na lavoura. Neste contexto, a avaliação do estado nutricional tem papel importante dentro do sistema produtivo.

A absorção de nutrientes pelas plantas é um processo complexo e a presença de determinado nutriente no solo, em concentrações disponíveis, não é garantia de que o mesmo será absorvido, pois muitos fatores ambientais podem interferir neste processo (SOUZA et al., 2007). A utilização de análises do tecido foliar, em conjunto com análises químicas do solo, auxilia na adequação das recomendações de adubação (MARSCHNER, 2012) e, conseqüentemente, no melhor suprimento das demandas nutricionais.

O fornecimento inadequado de nutrientes pode reduzir o crescimento e desenvolvimento das plantas, causando impactos negativos nos cultivos. Como medida de estudo, a avaliação do estado nutritivo, por meio da análise química das folhas, visa identificar os nutrientes que, por excesso ou deficiência, estejam limitando a produtividade.

Nas folhas ocorrem os principais processos metabólicos e, por este motivo, representam com melhor exatidão a condição nutricional da planta, sendo mais sensíveis às variações, podendo indicar estados de excesso ou deficiência (MALAVOLTA, 2006). Para a realização da diagnose em soja, crescimento do tipo indeterminado, a recomendação é de que sejam coletadas, no mínimo, 30 folhas no estágio R2 da cultura,

pleno florescimento, sendo o terceiro ou quarto trifólio totalmente formado, a partir do ápice da planta (TECNOLOGIAS, 2013).

Urano et al. (2006), avaliando teores de nutrientes no tecido foliar, estimou faixas de suficiência nutricional, porém é comum encontrar na bibliografia outras faixas de suficiência (MAEDA et al., 2004; EMBRAPA, 2008), o que reforça a necessidade de pesquisas regionalizadas a fim de se ter o melhor diagnóstico e, em consequência, informações mais precisas para programas de adubação que forneçam e atendam de forma sustentável as demandas nutritivas.

A obtenção de diferentes faixas de suprimento nutricional evidencia a complexidade do assunto. A estimativa de novos teores ótimos, obtidos regionalmente, com menor amplitude sugere melhor ajuste na utilização destes valores, quando comparados aos dados estabelecidos em diferentes condições de solo, clima e produtividade (KURIHARA, 2004; URANO et al., 2007).

A metodologia de avaliação CND (PARENT; DAFIR, 1992) foi desenvolvida com o conceito de buscar interpretar os nutrientes e suas relações. O caráter multivariado dos dados de composição nutricional exige que, para uma adequada interpretação, os teores dos nutrientes não devam ser interpretados separadamente, desconsiderando suas relações (TOLOSANA-DELGADO e VAN DEN BOOGART, 2011).

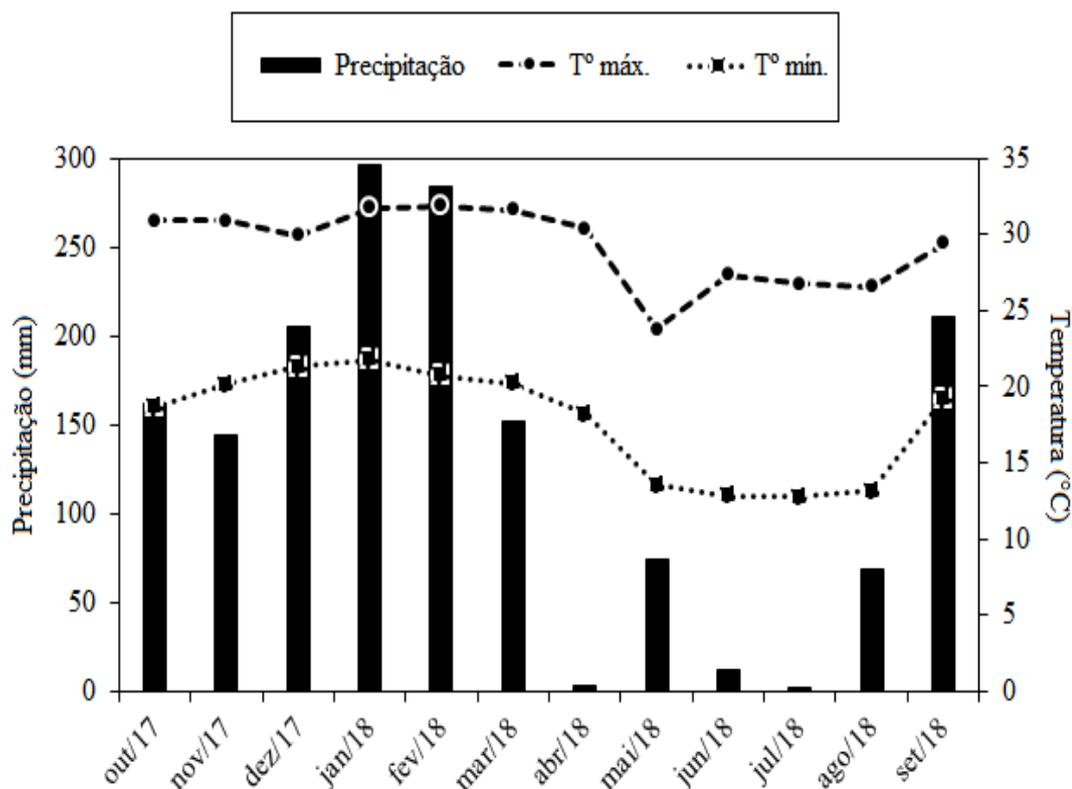
Para a interpretação da análise multivariada, uma das transformações utilizadas na metodologia CND está a transformação da razão log centralizada (*clr*), com base no teor de um dado nutriente juntamente com a média geométrica dos demais teores dos constituintes da matéria seca. Como vantagem, é possível a atribuição de pesos iguais às carências e aos excessos de nutrientes no desequilíbrio ao se fazer uso da diagnose da composição nutricional, esses pesos podem ser detectados com o uso da distância de Mahalanobis (PARENT et al., 2009).

Dentre os diversos fatores que podem interferir, positivamente ou não, na disponibilidade e absorção de nutrientes e, conseqüentemente, no estado nutricional das culturas, o sistema de cultivo adotado tem grande relevância. Levando em consideração o exposto, objetivou-se desenvolver normas CND e avaliar o estado nutricional da soja sob consórcio milho com forrageiras, por meio da Diagnose da Composição Nutricional, assim como a relação entre os nutrientes nas amostras foliares.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi instalado na Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (FAECA-UFGD), localizada no município de Dourados – MS, nas coordenadas geográficas 22 °14'08"S, 54°59'13"W, na altitude de 434 m. Segundo a classificação de Köppen- Geiger (PEEL et al., 2007), o clima é Aw (caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno), e o solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférico – LVdf (SANTOS et al., 2013). A precipitação anual média está entre 1100 e 1200 mm, sendo a temperatura média de 22°C. Os dados referentes a precipitação pluviométrica e temperaturas máximas e mínimas por decêndios durante o período de implantação dos experimentos, coleta das amostras e aquisição dos dados estão apresentados na Figura 1.



**FIGURA 2.** Precipitação pluviométrica, temperaturas máximas e mínimas por decêndio no período de outubro de 2017 a outubro de 2018, em Dourados – MS. Fonte: EMBRAPA (2018).

Foi realizada análise dos atributos químicos do solo da área experimental na camada de 0 – 20 cm de profundidade (Quadro 1).

**QUADRO 1.** Análise química do solo amostrado na camada de 0 – 20 cm em outubro de 2015. Dourados-MS, 2018.

Consórcio Milho com Forrageiras											
pH*	Al	Ca	Mg	H+Al	K	SB	T(pH7)	T(ef.)	M	V%	MO
----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							--- % ---		g kg <sup>-1</sup>		
4,77	0,0	60,5	12,4	59,2	5,1	77,9	137,0	77,9	0	56,8	27,9

\*pH em CaCl<sub>2</sub>; SB = soma de bases; T = capacidade de troca catiônica; ef. = efetiva; V% = saturação por bases; MO = matéria orgânica do solo.

A área destinada ao experimento de consórcio milho com forrageiras vem sendo cultivada neste sistema desde 2014. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, sendo composto por 16 tratamentos e quatro repetições, totalizando 64 parcelas (Quadro 2). Cada unidade experimental possuía 15 m de largura por 20 m de comprimento, totalizando 300 m<sup>2</sup>.

**QUADRO 2.** Culturas antecessoras implantadas no consórcio milho com forrageiras.

Trat.	2015/2016		2016/2017		2017/2018
1	Soja	Milho solteiro	Soja	Milho solteiro	Soja
2	Soja	Xaraes	Soja	Xaraes	Soja
3	Soja	Xaraes + MCS	Soja	Xaraes + MCS	Soja
4	Soja	Xaraes + MSS	Soja	Xaraes + MSS	Soja
5	Soja	Piatã	Soja	Piatã	Soja
6	Soja	Piatã + MCS	Soja	Piatã + MCS	Soja
7	Soja	Piatã + MSS	Soja	Piatã + MSS	Soja
8	Soja	Mombaça	Soja	Mombaça	Soja
9	Soja	Mom. + MCS	Soja	Mom. + MCS	Soja
10	Soja	Mom. + MSS	Soja	Mom. + MSS	Soja
11	Soja	Ruziziensis	Soja	Ruziziensis	Soja
12	Soja	Ruz. + MCS	Soja	Ruz. + MCS	Soja
13	Soja	Ruz. + MSS	Soja	Ruz. + MSS	Soja
14	Soja	Marandu	Soja	Marandu	Soja
15	Soja	Mar. + MCS	Soja	Mar. + MCS	Soja
16	Soja	Mar. + MSS	Soja	Mar. + MSS	Soja

MCS = Milho com supressão; MSS = Milho sem supressão; Mom. = Mombaça; Ruz. = Ruziziensis; Mar. = Marandu.

A semeadura das forrageiras foi realizada no mês de março com distribuição de 20 sementes por metro. Posteriormente foi realizada a semeadura do milho sobre as mesmas parcelas onde foram semeadas as forrageiras. Quando as plântulas das forrageiras estavam com 3 a 4 perfilhos, nos tratamentos consorciados com supressão, foram utilizados 6 g ha<sup>-1</sup> do princípio ativo do herbicida nicosulfuron. Foram realizados cortes para as cultivares do gênero *Brachiaria brizantha e ruziziensis* a 0,20 m em relação ao solo e a 0,40 m para as do gênero *Panicum maximum*.

O experimento com a cultura da soja foi implantado na área no mês de outubro de 2017 por meio de semeadura mecanizada. A variedade utilizada foi a Syngenta 1359s IPRO, no espaçamento 0,45 m, com densidade de 13 sementes por metro. Foi realizada adubação básica de 250 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 04-20-20 + 0,3 de Zn + 0,03 de B.

## **2.2 AQUISIÇÃO DO BANCO DE DADOS**

As coletas das folhas para compor as amostras utilizadas na análise química do tecido foliar foi realizada quando a cultura se encontrava no estágio R2, pleno florescimento, sendo o terceiro trifólio totalmente formado, a partir do ápice da planta (TECNOLOGIAS, 2013). Cada amostra foi composta por trinta folhas, coletadas aleatoriamente dentro das parcelas correspondentes.

Para quantificação dos teores de nutrientes no tecido foliar, após serem lavadas, as folhas foram submetidas a secagem em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de  $\pm 65^{\circ}\text{C}$  por 72h. O material foi moído por meio de moinho de rotação tipo ciclone (modelo TE-651/2) com peneira de 20 mesh, a fim de se obter material mais fino e uniforme para as análises. As análises químicas foram realizadas seguindo os procedimentos descritos por Malavolta et al. (1997).

A determinação da produtividade foi realizada por amostragem de duas linhas de 4,5 m comprimento. Foi determinada a massa de mil grãos e o teor de umidade, sendo o valor da umidade corrigido para 13%.

## **2.3 DETERMINAÇÃO DE SUBPOPULAÇÕES**

Para a formação do banco de dados e determinação das subpopulações foram utilizados os teores totais de nutrientes contidos nas amostras foliares e suas respectivas

produtividades. A separação das amostras em diferentes populações deve seguir um critério, em que se tenha um ponto de corte mínimo entre as subpopulações. Para tal, foi empregado a distância de Mahalanobis e a partição de Cate-Nelson.

A distância de Mahalanobis (DM) pode ser utilizada como índice de equilíbrio nutricional (PARENT et al., 2009) e permite a exclusão dos dados em desequilíbrio, sendo calculada através da matriz de covariância (COV) da seguinte maneira:

$$DM = \sqrt{(x - \bar{x})^T \text{cov}^{-1}(x - \bar{x})}$$

Na qual,  $x$  é a amostra a ser comparada;  $\bar{x}$  é a média da população em questão e COV a matriz de covariância da população referência.

A partição de Cate-Nelson, procedimento adotado neste trabalho, e que foi proposto por Nelson e Anderson (1971), divide o banco de dados em quatro diferentes grupos, maximizando a soma dos quadrados entre duas partições:

$$SQ = [(\sum X_i^2) / k + (\sum X_j^2) / (n - k)] - [\sum (X_i^2) / n]$$

$X_i$  = produtividade;  $X_j$  = conjunto de todas as observações amostrais;  $n$  = número de observações (decrecente);  $k$  = contagem elementar com início na primeira observação ordenada;  $j$  = número subsequente da contagem elementar.

O ponto crítico é determinado pelo maior valor de  $SQ$ , definindo o parâmetro dos valores para cada grupo. A classificação dos grupos é dada da seguinte forma:

- Verdadeiro Negativo (VN): amostras altamente produtivas classificadas corretamente como nutricionalmente equilibradas – população referência;
- Falso Positivo (FP): amostras altamente produtivas classificadas incorretamente como desequilibradas;
- Verdadeiro Positivo (VP): amostras de baixa produtividade, corretamente identificadas como desequilibradas, pelo menos um nutriente está causando desequilíbrio;
- Falso Negativo (FN): amostras de baixa produtividade, incorretamente identificadas como equilibradas, influência de fatores externos.

Posteriormente à divisão da população, foi aplicado o teste de precisão (PARENT et al., 2013), assim interpretado:

- Valor Preditivo Positivo (VPP): probabilidade de um diagnóstico de desequilíbrio retornar a um baixo desempenho –  $VP / (VP + FP)$ ;
- Valor Preditivo Negativo (VPN): probabilidade de um diagnóstico equilibrado retornar a um alto desempenho –  $VN / (VN + FN)$ ;
- Acurácia: probabilidade de uma observação ser corretamente identificada como equilibrada ou não –  $(VN + VP) / (VN + VP + FN + FP)$
- Especificidade: probabilidade de uma observação altamente produtiva estar equilibrada –  $VN / (VN + FP)$ ;
- Sensibilidade: probabilidade de uma observação de baixo desempenho estar desequilibrada –  $VP / (VP + FN)$ .

## 2.4 DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL (CND)

Para padronização dos dados, as concentrações de macronutrientes foram transformadas de  $g\ kg^{-1}$  para  $mg\ kg^{-1}$ , seguindo o mesmo padrão de unidade dos micronutrientes, permitindo a avaliação da composição nutricional. Estes dados, juntamente com os dados de produtividade formaram o banco de dados deste trabalho. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk (HAIR et al., 1995).

As normas CND foram calculadas segundo Parent e Dafir (1992), considerando o tecido foliar como um arranjo dimensional de nutrientes, sendo representado por  $d+1$  proporções, um *simplex* ( $S^d$ ), onde inclui um valor de enchimento e os nutrientes, definido por:

[1]

$$S^d = [(N, P, K, Ca, \dots, Rd); N > 0, P > 0, K > 0, Ca > 0, \dots, Rd > 0; N + P + K + Ca + \dots + Rd = 1.000.000]$$

O número 1.000.000 representa o valor total de matéria seca ( $mg\ kg^{-1}$ ), proporções de nutrientes e  $Rd$  (valor de enchimento), o qual é expresso por:

[2]

$$Rd = [1.000.000 - (N + P + K + Ca + \dots)]$$

Após serem divididos pela média geométrica ( $G$ ) do  $d+1$  componentes, contendo  $Rd$ , as proporções nutricionais tornam-se escala invariante (AITCHISON, 1986):

[3]

$$[N \times P \times K \times Ca \times \dots \times Rd]^{1/(d+1)}$$

As razões log centradas (CND-clr) são constituídas pelas seguintes equações:

[4]

$$VN = \ln\left(\frac{N}{G}\right); VP = \ln\left(\frac{P}{G}\right); VK = \ln\left(\frac{K}{G}\right); VCa = \ln\left(\frac{Ca}{G}\right); \dots; VRd = \ln\left(\frac{Rd}{G}\right)$$

A somatória das equações logarítmicas dos nutrientes deve satisfazer o seguinte termo:

[5]

$$VN + VP + VK + VCa + \dots + VRd = 0$$

As variáveis nutrientes ( $V$ ) consistiram do logaritmo neperiano ( $\ln$ ) do quociente entre a concentração de cada nutriente e a média geométrica das concentrações dos constituintes da matéria seca (KHIARI et al., 2001). As normas CND são calculadas pela diferença entre as  $V$  e as médias da população em questão ( $\bar{V}$ ), dividido pelo desvio-padrão ( $\sigma$ ) da mesma, como se segue:

[6]

$$IN = \frac{(VN - \bar{VN})}{\sigma N}; IP = \frac{(VP - \bar{VP})}{\sigma P}; IK = \frac{(VK - \bar{VK})}{\sigma K};$$

$$ICa = \frac{(VCa - \bar{VCa})}{\sigma Ca}; \dots; IRd = \frac{(VRd - \bar{VRd})}{\sigma Rd};$$

As normas CND, equações [6], são variáveis padronizadas e se tornam lineares com dimensões de um círculo ( $d + 1=2$ ), uma esfera ( $d + 1 = 3$ ), ou uma hipersfera ( $d + 1 > 3$ ), em um espaço tridimensional. Os índices de desbalanço de nutrientes diagnosticado (CND- $r^2$ ) assim é expresso:

$$CND-r^2 = IN^2 + IP^2 + IK^2 + ICa^2 + \dots + IRd^2$$

[7]

Os índices CND, independentes, devem ter distribuição de qui-quadrado ( $X^2$ ).

## 2.5 ANÁLISE DISCRIMINANTE MÚLTIPLA (ADM)

O procedimento teve como objetivo a seleção de combinações lineares (funções) de duas ou mais variáveis independentes. A função discriminante é dada por variáveis independentes métricas (contínuas) e a variável dependente (categórica) (JOHNSON e WICHERN, 2007). Neste trabalho, as variáveis independentes estão relacionadas com o índice geral CND- $r^2$ , distância de Mahalanobis e produtividade, e a variável dependente representa os grupos VN, VP, FN e FP, já descritos anteriormente.

Dentro desta análise foram aplicados testes de significância para verificar a existência de diferenças significativas entres populações. Por meio de correlações canônicas e autovalores, foi possível observar as variáveis com maior destaque e a discriminação dos grupos.

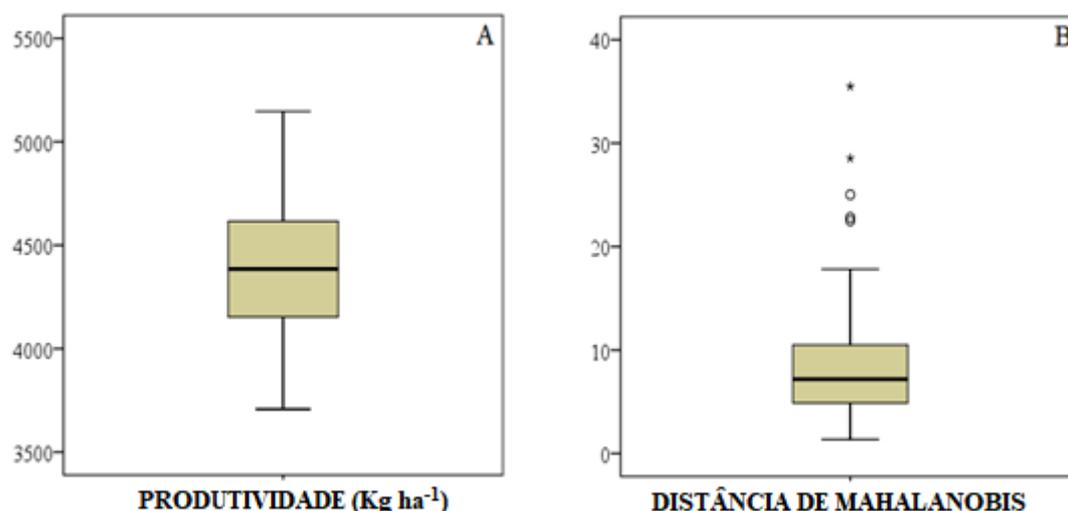
## 2.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As análises estatísticas foram realizadas com a utilização do software estatístico SPSS® IBM® versão 23. Para auxílio no desenvolvimento dos índices CND foi feito o uso da planilha do EXCEL® (2010).

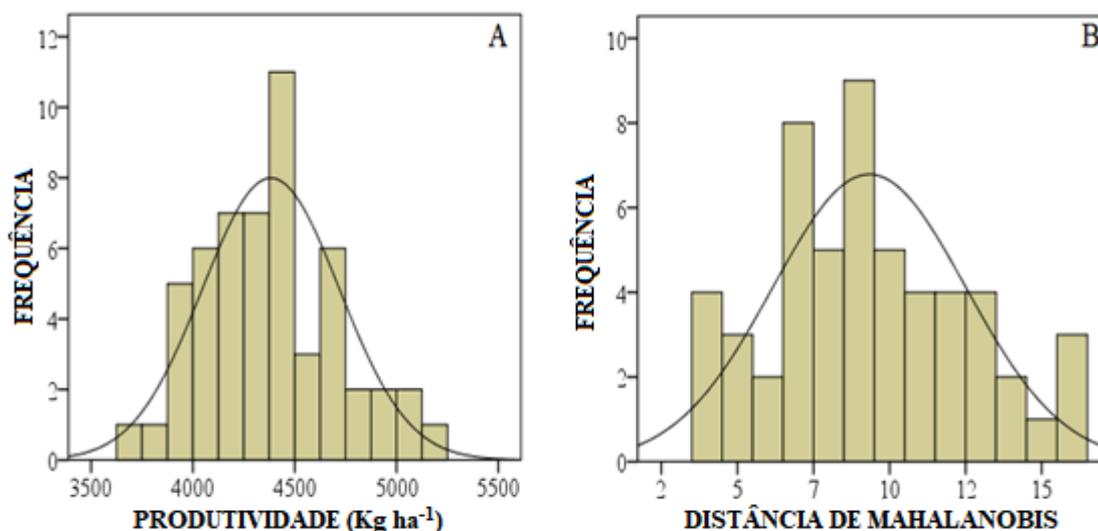
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL

O número de dados originais das amostras de tecido foliar da área de consórcio milho com forrageiras foi de 64, juntamente com as respectivas produtividades. A variação de produtividade na área foi entre 5.146 e 3.707 kg ha<sup>-1</sup>, com desvio padrão de 329 kg ha<sup>-1</sup>. Para remoção dos dados discrepantes (outliers) foi utilizada a distância de Mahalanobis (DM) (PARENT et al., 2009). O diagrama com a dispersão dos dados (Figura 2) demonstra amostras com valores desajustados. Após análise refinada, o banco de dados passou a constar de 54 amostras, sendo estas utilizadas para os cálculos das normas CND e demais análises estatísticas. Posteriormente à exclusão dos outliers, os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, o qual indicou a ocorrência de distribuição normal dos dados com base na distância de Mahalanobis ( $w = 0,972$ ;  $p = 0,231$ ) e produtividade ( $w = 0,979$ ;  $p = 0,454$ ) (Figura 3). A normalidade dos dados é um pré-requisito para a realização de inferências sobre parâmetros populacionais (CANTELMO e FERREIRA, 2007). Observada a normalidade, procedeu-se os cálculos para estabelecimento das normas CND.

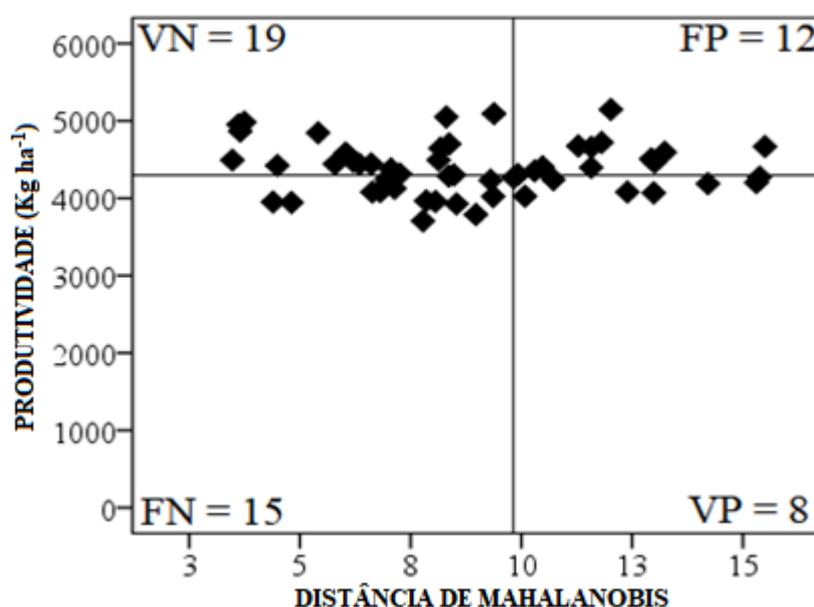


**FIGURA 2.** Identificação de *outliers* no banco de dados da área de consórcio milho com forrageiras. (A) produtividade; (B) Distância de Mahalanobis



**FIGURA 3.** Histogramas após a remoção de *outliers*. (A) produtividade; (B) Distância de Mahalanobis.

Realizada as transformações dos dados (normas CND), a partição da população amostral em subpopulações de alta e baixa produtividade ocorreu pelo procedimento de Cate-Nelson (CATE e NELSON, 1971; NELSON e ANDERSON, 1997), separando amostras em equilíbrio nutricional das amostras em desbalanço. A partição originou quatro grupos distintos: VN, FP, FN e VP (Figura 4). Os pontos de corte foram obtidos através dos dados de produtividade (4.301 kg ha<sup>-1</sup>) e distância de Mahalanobis (9,82).



**FIGURA 4.** Partição de Cate-Nelson para os dados de análise foliar de soja em sucessão ao consórcio milho com forrageiras. VN = verdadeiro negativo; FP = falso positivo; FN = falso negativo; VP = verdadeiro positivo.

Dentro do consórcio, o tratamento com a forrageira Xaraes (solteira) não apresentou nenhuma amostra dentro da população altamente produtiva e nutricionalmente equilibrada, além disso, das quatro parcelas avaliadas, três foram agrupadas na população de baixa produtividade e desequilibrada e uma na população equilibrada, porém de baixa produtividade (Quadro 3).

**QUADRO 3.** Detalhamento da divisão das amostras de soja cultivada em sucessão ao consórcio milho com forrageiras dentro das populações VN, FN, VP e FP.

Populações	Tratamentos*																Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
VN <sup>1</sup>	-	-	3	-	1	1	1	-	-	2	2	1	3	3	2	-	19
FN	2	1	-	3	-	1	-	1	2	-	-	1	-	-	2	2	15
VP	1	3	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	1	8
FP	-	-	1	1	1	2	-	1	-	1	2	1	1	1	-	-	12
Total	3	4	4	4	2	4	2	3	3	3	4	3	4	4	4	3	54

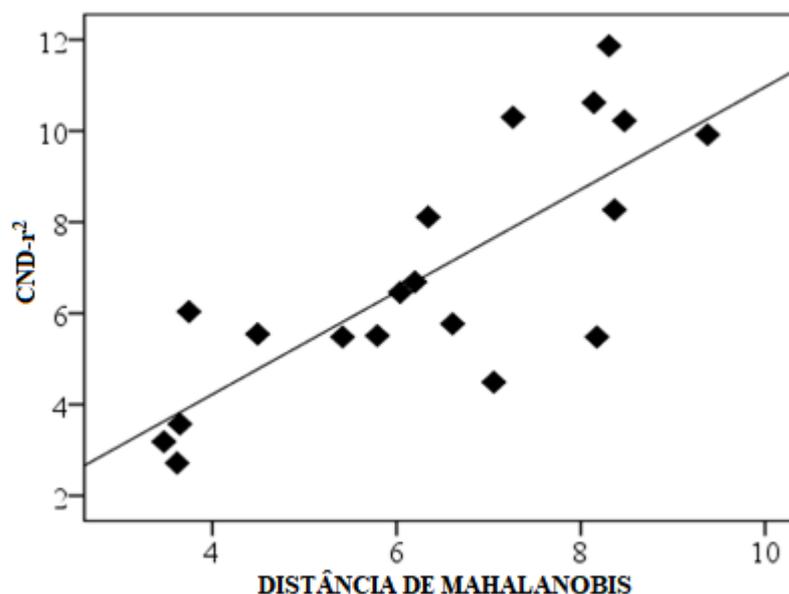
<sup>1</sup>População de referência; \*1: Milho solteiro; 2: Xaraes; 3: Xaraes + Milho com supressão; 4: Xaraes + Milho sem supressão; 5: Piatã; 6: Piatã + Milho com supressão; 7: Piatã + Milho sem supressão; 8: Mombaça; 9: Mombaça + Milho com supressão; 10: Mombaça + Milho sem supressão; 11: Ruziziensis; 12: Ruziziensis + Milho com supressão; 13: Ruziziensis + Milho sem supressão; 14: Marandu; 15: Marandu + Milho com supressão; 16: Marandu + Milho sem supressão.

Machado et al. (2010), avaliando forrageiras anuais e perenes, observaram que, embora o capim Xaraés tenha produzido maior massa de matéria seca, quando relacionado com a produtividade de grãos de soja, o mesmo não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. Variações movidas pelas culturas de cobertura por vezes podem ser menores que as variações ocasionadas por outros fatores relacionados ao solo, ao plantio e à avaliação do experimento.

Contudo, o consórcio milho com forrageiras como sistema de manejo proporciona maior otimização e intensificação da ciclagem de nutrientes no solo, melhorando qualidade do solo, influenciando positivamente a produtividade do cultivo da soja (BEHLING, 2013; LAROCA et al., 2018).

Embora as amostras da população de baixa produtividade tenham apresentado maior desequilíbrio nutricional e menor produtividade média (4.168 kg ha<sup>-1</sup>) das amostras que compõem o banco de dados, quando comparada com a produtividade média de Mato Grosso do Sul, conforme dados do IBGE (2018), a subpopulação apresenta produtividade 15% superior.

Com base na população de referência (VN), os dados de DM e  $CND-r^2$  deste estudo apresentaram correlação ( $R^2 = 0,62$ ;  $r = 0,78$ ;  $p = 0,01$ ) (Figura 5). Essa correlação, como índice de desequilíbrio nutricional, demonstra que, quanto maior a DM, maior será o desequilíbrio, representado pelo valor de  $CND-r^2$  (PARENT et al., 2009). Rozane et al. (2013), obtiveram correlação entre DM e  $CND-r^2$  em mangueiras de 0,59. Meneses (2017) trabalhando com milho-doce, obteve correlação de 0,83.



**FIGURA 5.** Correlação entre índice de desequilíbrio nutricional ( $CND-r^2$ ) e distância de Mahalanobis (DM) na população de referência.

Por meio da partição de Cate-Nelson, 19 amostras foram classificadas como VN, sendo esta a população considerada nutricionalmente equilibrada e altamente produtiva, onde os valores da DM estão abaixo do valor crítico (ponto de corte) e com produtividade acima dos  $4.301 \text{ kg ha}^{-1}$ . O grupo VP, compreendido pelas amostras diagnosticadas com desequilíbrio de nutrientes (ao menos um) e com produtividade baixa, apresentou 8 amostras.

A classe de amostras classificadas incorretamente como equilibradas e que apresentam baixa produtividade (FN) foi composta por 15 amostras. Nesta subpopulação, a baixa produtividade pode ser ocasionada por fatores não nutricionais. A população FP foi composta por 12 amostras, onde a DM se encontra acima do valor crítico, representando desequilíbrio nutricional, porém com elevada produtividade. Segundo Parent et al. (2016), a população FP representa amostras com alta eficiência de uso dos nutrientes ou consumo de luxo dos mesmos. Estes dados estão sintetizados no Quadro 4.

**QUADRO 4.** Divisão das amostras foliares de soja e teste de diagnóstico para seleção da população de referência.

Grupo	Frequência	Teste Diagnóstico	
VN	19	VPN	0,56
FP	12	VPP	0,40
FN	15	Acurácia	0,50
VP	8	Especificidade	0,62
-	-	Sensibilidade	0,35

VN = Verdadeiro negativo; FP = Falso positivo; FN = Falso negativo; VP = Verdadeiro positivo; VPN = Valor preditivo negativo; VPP = Valor preditivo positivo.

Existem diversos trabalhos na literatura demonstrando o emprego da metodologia de Cate-Nelson para a divisão da população em grupos com diferentes características para a diagnose da composição nutricional (PARENT, 2011; SANTOS, 2016; ROZANE et al., 2016).

Com a definição das populações nos diferentes grupos, foi realizado o teste de diagnóstico, calculando os parâmetros de acurácia, especificidade, sensibilidade, valor preditivo negativo (VPN) e valor preditivo positivo (PPV). No teste de acurácia, sendo a probabilidade de ser identificada corretamente como equilibrada ou desequilibrada, a análise obteve 50%. A probabilidade das amostras com alta produtividade, acima de 4.301 kg ha<sup>-1</sup>, serem classificadas como equilibradas nutricionalmente foi de 62%.

Das observações feitas, a probabilidade de uma amostra de baixa produtividade estar desequilibrada foi de 35%. Este resultado pode indicar interferência de fatores não nutricionais. A produtividade mínima para a população de referência (VP) no consórcio milho com forrageiras está acima da média alcançada pelos produtores brasileiros na safra 2017/18, que, segundo o levantamento do IBGE (2018) foi de 3.378 kg ha<sup>-1</sup>.

Para a população de referência, as normas CND foram obtidas segundo as variáveis nutrientes, através do logaritmo neperiano (*ln*) do quociente entre a concentração de cada nutriente e a média geométrica das concentrações dos constituintes da matéria seca (KHIARI et al., 2001). As médias e desvios-padrão das variáveis nutrientes e do constituinte da matéria seca (G) estão apresentadas no Quadro 5.

**QUADRO 5.** Normas CND da população de alta produtividade referentes às amostras foliares de soja cultivada no consórcio milho com forrageiras.

Variável Nutriente	Média	Desvio Padrão
<i>G</i>	2765,859	272,817
VN	2,820	0,176
VP	0,940	0,094
VK	1,902	0,121
VCa	1,256	0,100
VMg	0,310	0,049
VS	-0,091	0,059
VCu	-5,267	0,087
VMn	-3,540	0,069
VZn	-4,341	0,073

*G* = Média geométrica dos componentes nutricionais.

Diferentemente do que é observado entre os teores de nutrientes e os índices CND, as regressões lineares simples da produtividade sobre os índices apresentam baixos valores de  $R^2$  (Quadro 6). Estas estimações indicam que um nutriente, de forma isolada, não seria responsável pela produtividade. O coeficiente de determinação do índice geral de equilíbrio com a produtividade apresentou, assim como os índice dos teores dos nutrientes, baixo  $R^2$  (0,13). Para o banco de dados em estudo, este resultado indica que outros fatores não ligados a nutrição mineral estão interferindo na produtividade da soja.

**QUADRO 6.** Regressões lineares simples de produtividade sobre índices CND das variáveis nutrientes.

<i>I</i> -CND	Equação	$R^2$
<i>IN</i>	$\hat{y} = -5,4021 + 0,0011x$	0,10
<i>IP</i>	$\hat{y} = 2,2461 - 0,0004x$	0,06
<i>IK</i>	$\hat{y} = 6,3081 - 0,0013x$	0,16
<i>ICa</i>	$\hat{y} = 0,672 - 0,0002x$	0,03
<i>IMg</i>	$\hat{y} = 2,7945 - 0,0006x$	0,04
<i>IS</i>	$\hat{y} = 6,4586 - 0,0014x$	0,20
<i>ICu</i>	$\hat{y} = -1,0939 + 0,0002x$	0,01
<i>IMn</i>	$\hat{y} = -6,0634 + 0,0013x$	0,23
<i>IZn</i>	$\hat{y} = -4,1053 + 0,0008x$	0,13
<i>CND-r<sup>2</sup></i>	$\hat{y} = -0,0013x + 14,509$	0,13

<sup>1</sup>Modelo estatístico da análise de regressão dos teores de nutrientes com os respectivos índices CND.

Por meio dos índices CND, é possível estabelecer os níveis críticos correspondentes aos teores adequados de cada nutriente no tecido vegetal, para tal, os índices de cada equação foram igualados a zero. Os modelos de regressão de relações entre os índices CND, gerados a partir das variáveis nutriente, com seus respectivos teores nas amostras estão no Quadro 7. A avaliação do estado nutricional, seja pelo método CND ou por outra ferramenta de diagnose, pode fornecer classes de menor amplitude, diferentes dos encontrados na literatura (SERRA et al., 2010). Kurihara et al. (2013) estimaram faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e em soja com menor amplitude do que as faixas estabelecidas na literatura para as culturas do algodão e soja.

**QUADRO 7.** Modelos de regressão das relações entre os Índices CND e os teores das amostras foliares de soja cultivada em sucessão ao consórcio milho com forrageiras.

Nutriente	Equação <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	NC* g kg <sup>-1</sup>
N	$\hat{y} = -7,0666 - 0,0006x^2 + 0,1818x$	0,81	45,80
P	$\hat{y} = -9,5893 - 0,1077x^2 + 2,1919x$	0,55	6,36
K	$\hat{y} = -5,4114 - 0,003x^2 + 0,3581x$	0,81	17,75
Ca	$\hat{y} = -12,548 - 0,0682x^2 + 1,9687x$	0,85	9,50
Mg	$\hat{y} = -15,607 - 0,7476x^2 + 6,9979x$	0,45	3,66
S	$\hat{y} = -21,441 - 1,9098x^2 + 12,92x$	0,30	2,91
			--- mg kg <sup>-1</sup> ---
Cu	$\hat{y} = 5,1447\ln(x) - 13,715$	0,75	14,41
Mn	$\hat{y} = 4,5089\ln(x) - 19,753$	0,66	82,98
Zn	$\hat{y} = -8,2796 - 0,0032x^2 + 0,3436x$	0,71	36,51

<sup>1</sup>Modelo estatístico da análise de regressão dos teores de nutrientes com os respectivos índices CND. \*Nível crítico.

Os níveis críticos para cada nutriente foram semelhantes aos disponíveis na bibliografia (Quadro 8). Como já mencionado neste trabalho, a disponibilidade e absorção de nutrientes dependem de diversos fatores, entre eles, o tipo de solo, concentração e equilíbrio entre a fração trocável e a solução do solo e teor de pH (MALAVOLTA, 2006). Além disso, o estabelecimento de níveis depende também do material genético utilizado, do manejo do solo, do sistema de cultivo (WADT, 2011).

**QUADRO 8.** Faixa de suficiência adequada para macro e micronutrientes em folhas de soja por diferentes autores.

Referências	N	P	K	Ca	
	----- g kg <sup>-1</sup> -----				
Embrapa (2008)	45,0 – 55,0	2,5 – 5,0	17,0 – 25,0	3,5 – 20,0	
Kurihara et al. (2013)	50,6 – 56,5	2,8 – 3,3	14,4 – 17,2	6,2 – 8,9	
Urano et al. (2006)	37,0 – 44,2	2,8 – 3,2	21,1 – 25,2	10,0 – 13,2	
Referências	Mg	S	Cu	Mn	Zn
	----- g kg <sup>-1</sup> -----		----- mg kg <sup>-1</sup> -----		
Embrapa (2008)	2,5 – 10,0	2,0 – 4,0	6,0 – 14,0	20,0 – 100,0	20,0 – 50,0
Kurihara et al. (2013)	3,0 – 3,8	2,4 – 2,9	7,0 – 9,0	38,0 – 63,0	41,0 – 56,0
Urano et al. (2006)	2,6 – 3,8	2,0 – 2,7	7,4 – 11,4	44,7 – 69,6	43,6 – 69,9

Neste trabalho, as amplitudes dos teores de nutrientes nas amostras foliares foram calculadas através dos intervalos de confiança (PARENT et al., 2013). Comparando estes valores obtidos com as faixas de suficiência disponíveis para consulta (EMBRAPA, 2008; URANO et al., 2007; KURIHARA et al., 2013), o estudo em questão apresentou faixas com intervalos menores (Quadro 9). A probabilidade de erro na classificação das amostras em equilibradas ou desequilibradas é diminuída, devido ao efeito das menores amplitudes encontradas. Segundo Serra et al. (2010), a utilização de intervalos com menores amplitudes permite uma interpretação mais rigorosa das análises.

**QUADRO 9.** Faixa de suficiência para de nutrientes no tecido foliar de soja cultivada no consórcio milho com forrageiras.

Nutriente	FS <sup>1</sup>		
	Mínimo	Máximo	Ótimo
	----- g kg <sup>-1</sup> -----		
N	44,90	48,00	45,80
P	6,30	6,98	6,36
K	17,25	18,63	17,75
Ca	9,40	10,07	9,50
Mg	3,57	3,87	3,66
S	2,86	3,09	2,91
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----		
Cu	13,88	14,93	14,41
Mn	76,98	83,65	82,98
Zn	35,30	38,14	36,51

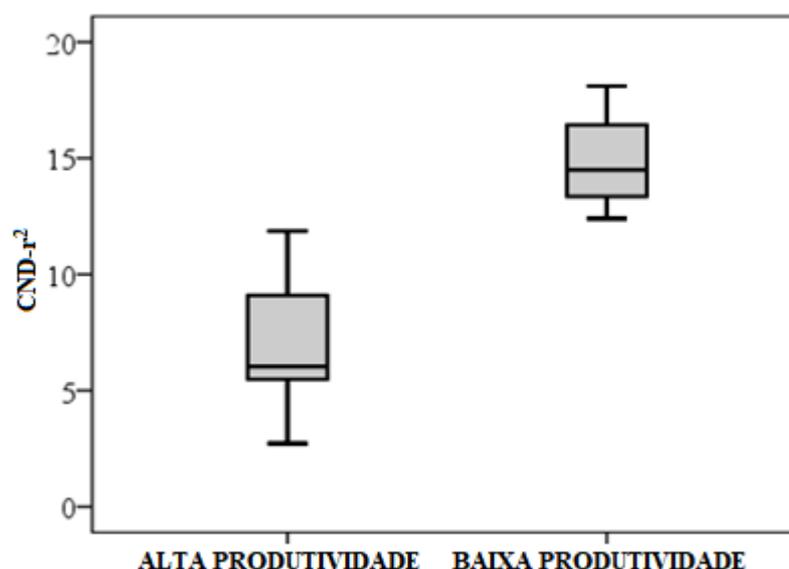
<sup>1</sup>FS: faixa de suficiência, calculada conforme proposto por Parent et al. (2013), a partir do intervalo de confiança ( $p \leq 0,05$ ).

Comparando as médias dos teores nutricionais da população de referência (VN) com as médias da população VP, utilizando a FS calculada, observam-se os teores da população VN em equilíbrio, já os de VP em desequilíbrio, o que, somado a fatores não nutricionais, demonstram a menor produtividade em relação a VN (Quadro 10).

**QUADRO 10.** Teores de nutrientes nas subpopulações VN e VP e Faixa de suficiência.

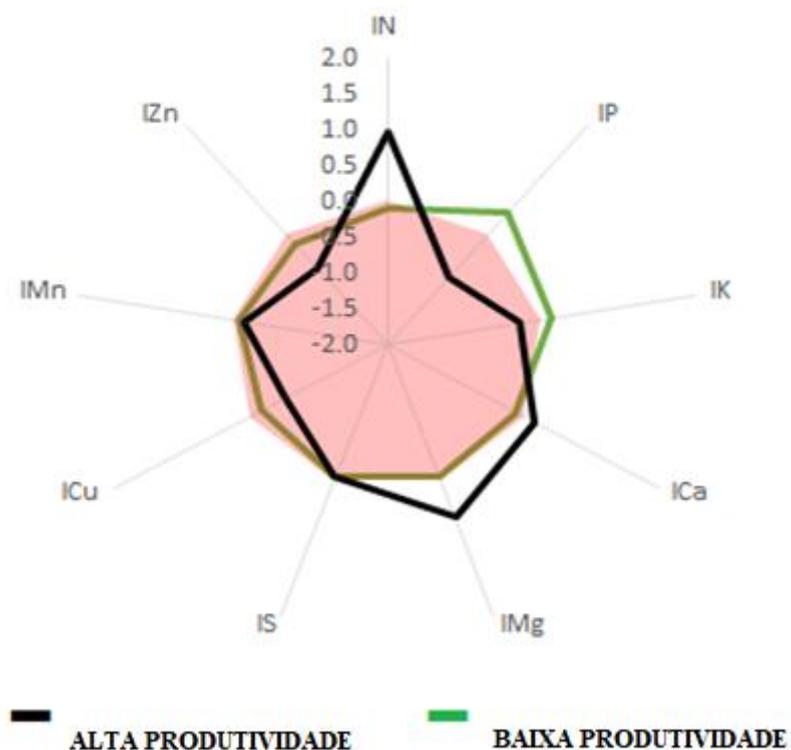
Nutriente	Médias da Subpopulação		FS <sup>1</sup>	
	VN	VP		
	----- g kg <sup>-1</sup> -----			
N	45,83	53,72	44,90	48,00
P	6,90	5,72	6,30	6,98
K	18,36	16,43	17,25	18,63
Ca	9,60	9,30	9,40	10,07
Mg	3,70	3,65	3,57	3,87
S	2,97	2,83	2,86	3,09
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----			
Cu	14,34	12,87	13,88	14,93
Mn	78,99	74,82	76,98	83,65
Zn	35,48	32,18	35,30	38,14

O índice geral de equilíbrio (CND-r<sup>2</sup>) nesta população foi de 14,80, enquanto o da população de alta produtividade foi de 6,5, demonstrando que, à medida que o índice geral aumenta, menor é o equilíbrio da amostra. É possível observar o maior desequilíbrio médio gerado pelas normas CND-r<sup>2</sup> nas amostras foliares da população de baixa produtividade, através dos índices de cada nutriente (Figura 6).



**Figura 6.** Boxplot para o CND-r<sup>2</sup>, em relação às populações de alta e baixa produtividade da soja em sucessão ao consórcio milho com forrageiras.

Os índices CND ainda evidenciam os nutrientes que se encontram em excesso ou em falta nas amostras por meio de valores positivos e negativos, sendo os valores mais distantes de zero os que apresentam maior desequilíbrio nutricional. Na Figura 7 é possível identificar que os nutrientes N, Ca e Mg estão causando desequilíbrio pelo excesso e os nutrientes P, K, Cu e Zn por falta.



**FIGURA 7.** Ordem de equilíbrio nutricional das populações de alta e baixa produtividade.

### 3.2 VALIDAÇÃO DA PARTIÇÃO DE CATE-NELSON

Foi realizada a análise de discriminante múltipla, sendo os grupos pré-definidos os mesmos classificados através da partição de Cate-Nelson. Para o procedimento estatístico foram consideradas as variáveis CND- $r^2$ , DM e Produtividade como características quantitativas, a fim de verificar a nova dispersão do conjunto de dados. O resultado da análise de variância dos testes de igualdade de médias entre os grupos pode ser visto no Quadro 11. O valor de Lambda de Wilks ( $\Lambda$ ) obtido na análise indica que existe diferença entre as médias, ou seja, que os grupos não possuem vetores iguais, ocorrendo a discriminação entre eles.

**QUADRO 11.** Teste de igualdade de médias entre grupos.

Variável	Lambda de Wilks	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
CND-r <sup>2</sup>	0,677	10,266	0,000**
Distância de M.	0,330	43,674	0,000**
Produtividade	0,394	33,113	0,000**

\*\*significativos à 1% de probabilidade.

Valores de  $\Lambda$  mais próximos de 1 indicam ausência de diferença. Embora significativo, quando comparado a Produtividade e a Distância de Mahalanobis, a variável CND-r<sup>2</sup> apresentou menor poder discriminatório para a formação dos grupos. Os dados apresentaram distribuição normal e a homogeneidade das matrizes de covariância, pressuposto da análise discriminante, foi confirmada pela estatística M de BOX (Quadro 12).

**QUADRO 12.** Teste M de Box entre matrizes de covariância dos grupos pré-estabelecidos.

Teste		<i>Sig.</i>
M de Box	44,889	0,003 <sup>ns</sup>
<i>F</i>	2,176	

<sup>ns</sup> não significativo.

A distribuição das amostras dentro de cada grupo, previamente estabelecidos, se dá por meio das funções discriminantes geradas (Quadro 13). A primeira função pode explicar 62,0% da variância total nos dados, com correlação canônica de 0,850, evidenciando forte grau de associação com os grupos. A segunda função pode explicar 38% da variação contida nos dados. Quando analisadas em conjunto, a terceira função (0,4%) não apresentou poder discriminatório capaz de agrupar as amostras em diferentes grupos com base nas variáveis adotadas, apresentando alto valor de  $\Lambda$ , não sendo significativo.

**QUADRO 13.** Sumarização de funções discriminantes canônicas para amostras foliares de soja cultivada em sistema de rotação de culturas

Função	Autovalor	% de Variância	% cumulativa	C. Canônica
1	2,598	62,0	62,0	0,850
2	2,003	38,0	100,0	0,784
3	0,217	0,4	100,0	0,024
Teste de funções		Lambda de Wilks	Sig.	
1 até 3		0,107	0,000**	
2 até 3		0,385	0,000**	
3		0,999	0,864 <sup>ns</sup>	

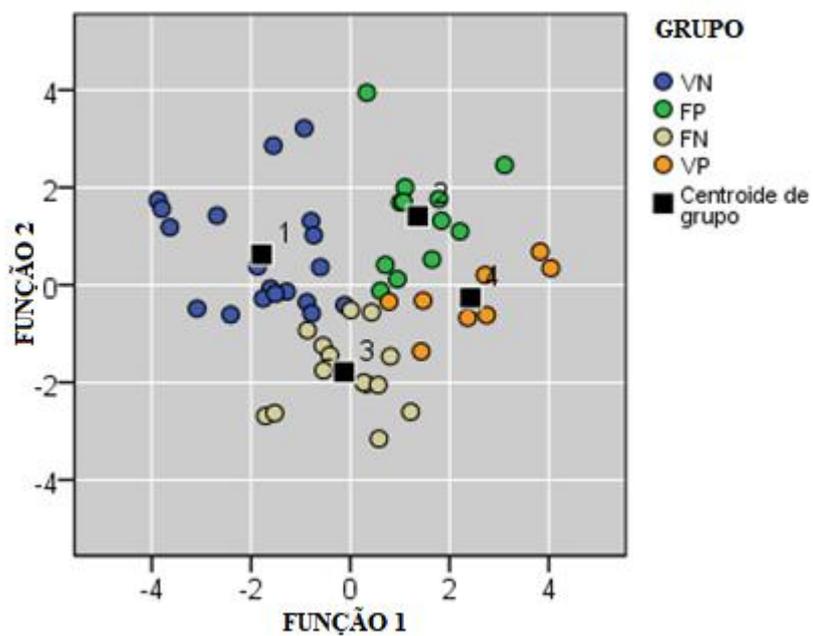
\*\*significativos à 1% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo.

No Quadro 14 estão apresentadas as observações da distribuição das amostras através da classificação *a priori* e a associação predita, originada através das funções discriminantes. Dos casos agrupados originalmente, 96,3% foram classificados corretamente, utilizando das variáveis CND- $r^2$ , DM e Produtividade como características para discriminação entre grupos. A associação ao grupo predita classificou duas amostras, previamente identificadas como um (1), como grupo três (3). Para estudar o efeito da estrutura populacional sobre o desequilíbrio de ligação na análise de 95 genótipos de soja, Curtolo (2018), utilizou a análise discriminante, sendo todos os genótipos atribuídos aos seus respectivos grupos (100%).

**QUADRO 14.** Distribuição das observações a priori e por meio das funções discriminantes.

Classificação <i>a priori</i>	Associação ao grupo predita				Total
	1	2	3	4	
1	17	0	2	0	19
2	0	2	0	0	12
3	0	0	15	0	15
4	0	0	0	8	8
Total	17	12	17	8	54

A Figura 8 representa o agrupamento com base na primeira e segunda função discriminante. À medida que os dados analisados de cada conjunto se aproximam e a distância entre os centroides dos grupos aumenta, maior é a precisão da discriminação, resultado de uma melhor maximização das funções discriminativas.



**FIGURA 8.** Dispersão das observações a priori e por meio das funções discriminantes para o banco de dados. Função 1: 62,0%; Função 2: 38,0%.

#### 4. CONCLUSÕES

Os índices CND dos nutrientes, obtidos a partir de normas CND desenvolvidas, permitem avaliar o estado nutricional da cultura da soja em sistemas de consórcio milho com forrageiras, evidenciando os nutrientes em excesso, deficiência e em equilíbrio.

Os teores de nutrientes considerados adequados para a soja com produtividade acima de 4301,01 kg ha<sup>-1</sup> são, em g kg<sup>-1</sup>: N = 44,9 – 48,0; P = 6,3 – 7,0; K = 17,2 – 18,6; Ca = 9,4 – 10,1; Mg = 3,6 – 3,9; S = 2,8 – 3,1; em mg kg<sup>-1</sup>: Cu = 13,8 – 14,9; Mn = 76,9 – 83,6 e Zn = 35,3 – 38,1.

Os nutrientes que apresentaram desequilíbrio, relacionados as populações de baixa produtividade, limitantes por deficiência foram P, K Cu e Zn, e por excesso N, Ca e Mg.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ALVES, V. B.; PADILHA, N. D. S.; GARCIA, R. A.; CECCON, G. Milho safrinha consorciado com *Urochloa ruziziensis* e produtividade da soja em sucessão. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 12, n. 3, p. 280-292, 2014.

BEHLING, M.; WRUCK, F. J.; ANTONIO, D.; MENEGUCI, J. L. P.; PEDREIRA, B. C.; CARNEVALLI, R. A.; SILVA, J. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF). **Embrapa Agrossilvipastoril-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2013.

CANTELMO, N. F.; FERREIRA, D.F.; 2007. Desempenho de testes de normalidade multivariados avaliado por simulação monte carlo. **Ciência e Agrotecnologia** 31: 1630-1636.

CATE, R.B.; NELSON, L.A. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. **Soil Science Society of America Journal**, v. 35, p. 658 - 660, 1971.

CECCON, G; STAUT, L. A.; SAGRILO, E.; MACHADO, L. A. Z.; NUNES, D. P.; ALVES, V. B. Legumes and forage species sole or intercropped with corn in soybean-corn succession in midwestern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 204-212, Feb. 2013.

CECCON, G.; DA SILVA, J. F.; NETO, A. L. N.; MAKINO, P. A.; DOS SANTOS, ADRIANO. Produtividade de milho safrinha em espaçamento reduzido com populações de milho e de *Brachiaria*. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 3, p. 326-335, 2015.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E.; SILVA, J. O.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 37-43, 2012.

CHIODEROLI, C. A.; FURLANI, C. E. A.; DE OLIVEIRA AGUIAR, A.; CAVICHIOLI, F. A.; CASSIA, M. T. Semeadura de soja sobre palhada de milho consorciado com *brachiaria*. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 5, 2016.

CURTOLO, M. **Desequilíbrio de ligação, análise de associação genômica ampla e sinais de seleção em soja**. 2018. 103f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP.

DA COSTA, J. A. A.; KICHEL, A. N.; DE ALMEIDA, R. G.; ZIMMER, A. H. Produtividade de soja semeada em palhada de capins cultivados em consórcio com milho na safrinha. 2010. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28., 2010, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo.

EMBRAPA, Soja. Tecnologias de produção de soja - Região Central do Brasil 2014. Londrina: **Embrapa Soja**, 2013. 265 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 16).

FACCIN, F. C.; MARCHETTI, M. E.; SERRA, A. P.; ENSINAS, S. C. Frações granulométricas da matéria orgânica do solo em consórcio de milho safrinha com capim-marandu sob fontes de nitrogênio. **Embrapa Gado de Corte-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2016.

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; CONTE, O. Desempenho da soja em consequência de manejo de pastagem, época de dessecação e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 12, p. 1131-1138, 2015.

GARCIA, C. M. D. P.; ANDREOTTI, M.; TARSITANO, M. A. A.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; DA SILVA LIMA, A. E.; BUZETTI, S. Análise econômica da produtividade de grãos de milho consorciado com forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* em sistema plantio direto. *Ceres*, v. 59, n. 2, 2015.

HAIR, J. F. Jr.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Multivariate Data Analysis (with readings)**, 4 ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1995.

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

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria>> Acesso em: 22 jan. 2019.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. New Jersey: Prentice-Hall, 2007. 773p

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.

KURIHARA, C. H. **Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional**. 2004. 101p. Tese de Doutorado (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

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

LAROCA, J. V. S.; DE SOUZA, J. M. A.; PIRES, G. C.; PIRES, G. J. C.; PACHECO, L. P.; DA SILVA, F. D.; DE SOUZA, E. D. Qualidade do solo e produtividade de soja em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 11, p. 1249-1259, 2018.

MACHADO, L. A. Z.; ASSIS, P. G. G. de. Produção de palha e forragem por espécies anuais e perenes em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 4, p. 415-422, 2010.

MAEDA, S. RONZELLI JUNIOR, P. Valores de referência do DRIS para a soja, cultivares EMBRAPA 59 e BR 37, em Carambeí – Paraná. **Scientia Agrária**, Colombo, v. 5, n. 1-2, p. 21-28, 2004.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: princípios e aplicações**. 2 ed., Potafos, Piracicaba, 1997. 319 p.

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

MARSCHNER P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. London, Academic Press, 2012. 651p.

MECHI, I. A.; DOS SANTOS, A. L. F.; RIBEIRO, L. M.; CECCON, G. Infestação de plantas daninhas de difícil controle em função de anos de consórcio milho-braquiária. *Journal Of Neotropical Agriculture*, v. 5, n. 3, p. 49-54, 2018.

MENDONÇA, V. Z. DE.; MELLO, L. M. M. DE.; ANDREOTTI, M.; PEREIRA, F. C. B. L., LIMA, R. C.; VALÉRIO FILHO, W. V.; YANO, É. H. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras e milho em sucessão com soja em região de cerrados. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 251-259, fev. 2013.

MENESES, N. B. **Diagnóstico do estado nutricional do milho-doce**. 2017. 88f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal-SP.

NELSON, L.A.; ANDERSON, R.L. Partitioning of soil test-crop response probability. In: PECK, T.R.; COPE-JUNIOR, J.T.; WHITNEY, D.A.; (ed.) **Soil testing: correlating and interpreting the analytical results**. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America; 1997.

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

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

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, p. 1-12, 2013.

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.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Mapa do mundo atualizada do Köppen-Geiger Classificação climática. **Hydrol. Terra Syst. Sci**, v. 11, p. 1633-1644, 2007.

PEREIRA, F. C. B. L.; DE MENDONÇA, V. Z.; LEAL, S. T.; ROSSETTO, J. É. Avaliação econômica e do desempenho técnico do milho consorciado com duas espécies forrageiras dos gêneros panicum e brachiaria em sistema de integração lavoura-pecuária. **Agrarian**, v. 7, n. 23, p. 157-165, 2014.

PORTES, T. D. A.; CARVALHO, S. D.; KLUTHCOUSKI, J. Aspectos fisiológicos das plantas cultivadas e análise de crescimento da braquiária consorciada com cereais. **Integração lavoura-pecuária. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão**, p. 303-330, 2003.

ROZANE, D. E.; NATALE, W.; PARENT, L. E.; PARENT, S.-É.; SOUZA, H. A. de; AMORIM, D. A. de. **População de referência no diagnóstico da composição nutricional (CND) em Mangueiras**. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 2013.

ROZANE, D. E.; BRUNETTO, G.; NATALE, W.; PARENT, S.; dos SANTOS, E. M. H.; ZALAMENA, J.; PARENT, L. Avaliação do estado nutricional de videiras pela Diagnose da Composição Nutricional-CND. **Embrapa Uva e Vinho-Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E)**, 2016.

SANTOS, E. M. H. D. **Diagnose da Composição Nutricional (CND) para a cultura da atemoia**. 2016. 54f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, J. B. Sistema brasileiro de classificação de solos [Brazilian system of soil classification]. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (3th ed), Brasília, Brazil**, 2013.

SERRA, A. P. et al. 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.

SFREDO, G. J. **Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral**. Londrina: Embrapa Soja, 2008.

SOUZA, A. das G. C. de; BERNI, R. F.; SOUZA, M. D. de; SOUSA, N. R. V. S.; SILVA, S. E. L. da.; TAVARES, A. M.; ANDRADE, J. de S.; BRITO, M. A. M. de; SOARES, M. S. da. C. **Boas práticas agrícolas da cultura do cupuaçuzeiro**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2007. 56 p.

TOLOSANA-DELGADO, R.; VAN DEN BOOGART, K. G. “Linear models with compositions in R” in **Compositional Data Analysis: Theory and Applications**, eds V. Pawlowsky-Glahn and A. Buccianti. New York: John Wiley and Sons, p. 356–371. 2011.

URANO, E. O. M.; KURIHARA, C. H.; MAEDA, S.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C.; MARCHETTI, M. E. Avaliação do estado nutricional da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, DF, v. 4, p. 1421-1428, 2006.

URANO, E. O. M.; KURIHARA, C. H.; MAEDA, S. VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C.; MARCHETTI, M. E. Determinação de teores ótimos de nutrientes em soja pelos métodos chance matemática, sistema integrado de diagnose e recomendação e diagnose da composição nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 63-72, 2007.

VERNETTI JUNIOR, F. DE J.; GOMES, A. DA S.; SCHUCH, L. O. B. Sustentabilidade de sistemas de rotação e sucessão de culturas em solos de várzea no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 39, n. 6, 2009.

WADT, P. G. S. **Diagnose foliar e recomendação de adubação para lavouras comerciais**. Rio Branco: Embrapa, 2011. 69 p.