



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

João Batista Belarmino Rodrigues

**VALORES DE REFERÊNCIA PARA A DIAGNOSE NUTRICIONAL DO
ABACAXIZEIRO 'PÉROLA' NO ESTADO DA PARAÍBA**

**AREIA
2020**

JOÃO BATISTA BELARMINO RODRIGUES

**VALORES DE REFERÊNCIA PARA A DIAGNOSE NUTRICIONAL DO
ABACAXIZEIRO 'PÉROLA' NO ESTADO DA PARAÍBA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Paiva da Silva
Co-orientador: Prof. Dr. Walter Esfrain Pereira

**AREIA
2020**

Catálogo na publicação Seção de Catalogação e Classificação

R696v Rodrigues, João Batista Belarmino.

Valores de referência para a diagnose nutricional do abacaxizeiro "Pérola" no estado da Paraíba / João Batista Belarmino Rodrigues. - Areia, 2021.
134 f. : il.

Orientação: Alexandre Paiva da Silva.
Coorientação: Walter Esfrain Pereira.
Tese (Doutorado) - UFPB/CCA.

1. Ciência do Solo. 2. Ananas comosus comosus. 3. Normas nutricionais. 4. DRIS. 5. CND. 6. Validação das normas. I. Silva, Alexandre Paiva da. II. Pereira, Walter Esfrain. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631.4 (043.3)

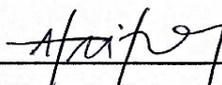
JOÃO BATISTA BELARMINO RODRIGUES

**VALORES DE REFERÊNCIA PARA A DIAGNOSE NUTRICIONAL DO
ABACAXIZEIRO 'PÉROLA' NO ESTADO DA PARAÍBA**

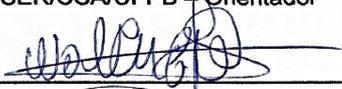
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Aprovada em: 11/12/2020

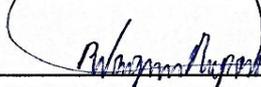
BANCA EXAMINADORA



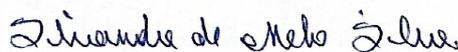
Prof. Dr. Alexandre Paiva da Silva
DSER/CCA/UFPB – Orientador



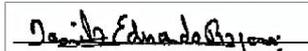
Prof. Dr. Walter Estrain Pereira
DCFS/CCA/UFPB – Examinador



Prof. Dr. Roberto Wagner Cavalcanti Raposo
DSER/CCA/UFPB – Examinador



Profa. Dr. Silvana de Melo Silva
DQF/CCA/UFPB – Examinadora



Prof. Dr. Danilo Eduardo Rozane
CCEA/UNESP – Examinador



Prof. Dr. William Natale
DF/CCA/UFC – Examinador

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida, pela saúde física e mental durante toda minha trajetória acadêmica, e por me mostrar que tudo na vida tem um propósito e um significado;

Aos meus pais: Raimundo Rodrigues e Maria do Socorro Belarmino Rodrigues (*in memoriam*), pela educação e ensinamentos de valores fundamentais para a vida em sociedade (caráter, ética, respeito e honestidade);

A minha irmã Alessandra Belarmino, por toda a torcida pelo meu sucesso profissional e pessoal;

À Universidade Federal da Paraíba, pela oportunidade de ser um cidadão graduado e Pós-graduado;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS), pela oportunidade de me tornar Doutor numa das áreas básicas para a vida na Terra;

À Capes por ter financiado meus estudos e ao CNPq pelo financiamento do projeto de pesquisa;

Ao meu orientador, Professor Alexandre Paiva da Silva, pelo conhecimento transmitido, confiança e amizade construída;

Ao meu Co-orientador, Professor Walter Esfrain Pereira pelo auxílio nas análises estatísticas, gentileza e disponibilidade durante a construção do trabalho;

Ao professor William Natale pelos conhecimentos transmitidos, consideração, profissionalismo e disponibilidade;

Ao professor Danilo Eduardo Rozane, pela contribuição efetiva nesta pesquisa e ensinamentos compartilhados;

À professora Silvanda de Melo Silva, pelas contribuições na parte de qualidade da produção, gentileza, consideração e ensinamentos durante minha formação acadêmica;

Ao professor Roberto Wagner C. Raposo pelos conhecimentos compartilhados, e auxílios durante as etapas de qualificação e estágio de docência.

Aos demais professores do PPGCS e do Departamento de Solos e Engenharia Rural (DSER) por contribuir com minha formação profissional;

À Rosa Cláudia, pelo apoio e suporte nas questões relacionadas ao Programa;

Aos funcionários do DSER, pela amizade construída e colaboração durante a condução deste trabalho;

Aos proprietários das fazendas onde foram executados os experimentos;

À “equipe abacaxi” (Mateus, Clint, Ewerton, Ernandes, Alessandra, Sonaria, Anne, Julião e Jessica) pelo apoio e amizade construída durante os experimentos;

Aos amigos (Marcos, Evaldo, Jhony, Antônio Fernando, Antônio Augusto, Leonardo, Felipe, Plácido, Lenildo, Kaline, Diogo, Bruno e Raimundo) por todas as conversas descontraídas, momentos de lazer, ajuda na execução das atividades relacionadas a

esta pesquisa e pelas palavras de incentivo, fazendo com que eu não desistisse dos meus objetivos;

Ao meu amigo Antônio João por toda a ajuda relacionada a esta pesquisa e pela amizade sincera construída;

A Eduardo Maciel pela ajuda relacionada com a partição de Cate-Nelson;

Aos amigos da turma de doutorado 2016.1 (Victor, Renato, Gaudêncio, Valéria, Begna e Edjane) pelo companheirismo e amizade desenvolvida;

A minha esposa Cristine, por estar ao meu lado em todos os momentos durante toda minha trajetória acadêmica e pessoal, sendo um dos pilares da minha vida; obrigado por dividir todos os sentimentos vividos durante todo esse tempo;

A todos que aqui não foram mencionados por um momento de esquecimento, mas que sem dúvida foram importantes para a realização deste trabalho.

RESUMO

A avaliação do estado nutricional, por meio da análise foliar, em complemento à análise do solo é indispensável para o monitoramento nutricional das lavouras, bem como para subsidiar as recomendações de adubação. Nesta pesquisa objetivou-se gerar, comparar e validar valores foliares de referência, obtidos pelos métodos DRIS e CND, para maximizar a produtividade e a qualidade do abacaxizeiro 'Pérola'. Utilizou-se um banco de dados contendo os teores foliares de N, P, K, S, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn e B; produtividade e qualidade de 270 amostras, oriundas de três experimentos de adubação, realizados na região de Tabuleiros Costeiros da Paraíba entre os anos 2006 e 2014. As normas DRIS foram geradas pelas fórmulas de Jones (1981) e Beverly (1987), enquanto as normas CND foram obtidas conforme Parent & Dafir (1992). Calcularam-se os níveis críticos foliares e as faixas de suficiência com base nas equações de regressão ajustadas entre os teores foliares e seus respectivos índices DRIS e CND. As normas DRIS para a qualidade foram obtidas para as variáveis peso do fruto, relação SS/AT e firmeza; já as normas CND para qualidade foram obtidas combinando-se as variáveis peso do fruto, sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT numa variável denominada Índice de Qualidade (IQ). A validação foi feita utilizando-se o método da partição de Cate & Nelson (1977). Houve correlação entre os teores foliares e os índices DRIS e CND para cada nutriente avaliado. As correlações entre os índices DRIS e CND com a produtividade e a qualidade foram de baixa magnitude. Houve elevado percentual de diagnósticos nutricionais concordantes entre os dois métodos. Os valores de referência obtidos nesta pesquisa diferem dos disponíveis na literatura, tanto para a produtividade quanto para a qualidade, muito provavelmente devido às variações das condições edafoclimáticas e dos métodos utilizados pelas pesquisas disponíveis na literatura. Quando analisada a produtividade, o banco de dados apresentou acurácia de 48,1 e 40,0 % pelo método Cate-Nelson para o DRIS e CND, respectivamente. O banco de dados apresentou uma acurácia de 70,5% para o peso do fruto, 60,5% para a SS/AT e 81,1% para a firmeza de acordo com o DRIS qualidade, e uma acurácia de 58,5% para o método CND Qualidade. Os valores de referência estabelecidos pelos métodos DRIS e CND nesta pesquisa são uma ferramenta adequada para realizar o diagnóstico nutricional do abacaxizeiro 'Pérola' cultivado na Paraíba.

Palavras-chave: *Ananas comosus comosus*; normas nutricionais; DRIS; CND; validação das normas.

ABSTRACT

The assessment of nutritional status, through leaf analysis, in addition to soil analysis, is essential for nutritional monitoring of crops, as well as to support fertilization recommendations. This research aimed to generate, compare and validate leaf reference values, obtained by the DRIS and CND methods, to maximize the productivity and quality of the 'Pearl' pineapple. A database containing N, P, K, S, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn and B leaf contents was used; productivity and quality of 270 samples, from three fertilization experiments, carried out in the region of Tabuleiros Costeiros da Paraíba between 2006 and 2014. The DRIS norms were generated by the formulas of Jones (1981) and Beverly (1987), while the norms CND were obtained according to Parent & Dafir (1992). Leaf critical levels and sufficiency ranges were calculated based on regression equations adjusted between leaf contents and their respective DRIS and CND indexes. The DRIS standards for quality were obtained for the variables fruit weight, SS/AT ratio and firmness, while the CND standards for quality were obtained by combining the variables fruit weight, soluble solids, titratable acidity and SS/AT ratio in one another variable called Quality Index (IQ). The validation was done using the partition method of Cate & Nelson (1977). There was a correlation between leaf contents and the DRIS and CND indexes for each nutrient evaluated. The correlations between the DRIS and CND indexes with productivity and quality were of low magnitude. There was a high percentage of concordant nutritional diagnoses between the two methods. The reference values obtained in this research differ from those available in the literature, both for productivity and for quality, most likely due to variations in edaphoclimatic conditions and methods used by research available in the literature. When analyzing productivity, the database showed an accuracy of 48.1 and 40.0% by the Cate-Nelson method for DRIS and CND, respectively. The database showed an accuracy of 70.5% for fruit weight, 60.5% for SS/AT and 81.1% for firmness according to DRIS quality, and an accuracy of 58.5% for the CND Quality method. The reference values established by the DRIS and CND methods in this research are an adequate tool to carry out the nutritional diagnosis of the 'Pearl' pineapple grown in Paraíba.

Keywords: *Ananas comosus comosus*; nutritional norms; DRIS; CND; validation of standards.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Distribuição das folhas do abacaxizeiro, de acordo com a idade (A – mais velha; F – mais nova).	18
Figura 2- Categorias de folhas do abacaxizeiro (A-F) e seções foliares: 1 - basal não clorofilada; 2- transicional subclorofilada; 3 - inferiores clorofiladas; 4 - intermediárias clorofiladas; 5 - terminal clorofilada. As seções da folha D usadas na análise foliar são: BW - terço médio do tecido basal branco; BG - terço inferior do tecido basal verde; MG - terço médio do tecido verde; WL - folha D inteira.....	18
Figura 3 - Validação das normas pelo método de partição de Cate & Nelson para tomateiro. FN - Falso Negativo; FP- Falso Positivo; TN – Verdadeiro Negativo; TP – Verdadeiro Positivo; NPV – Valor Preditivo Negativo; PPV – Valor Preditivo Positivo; acurácia de 81%; especificidade de 78% e sensibilidade de 84%.	29
Figura 4- Valores de Precipitação pluviométrica e temperatura média do ar durante a condução do experimento no município de Sapé-PB.....	34
Figura 5 - Valores de Precipitação pluviométrica e temperatura média do ar durante a condução do experimento no município de Santa Rita-PB.	34
Figura 6 - Valores de Precipitação pluviométrica e temperatura média do ar durante a condução do experimento no município de Itapororoca-PB.....	34
Figura 7- Ordem de limitação para os nutrientes N, P, K, S, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn, Mn e B, a partir da população de baixa produtividade, segundo a método DRIS para o abacaxizeiro 'Pérola'. Índices positivos e negativos representam excesso e deficiência, respectivamente.	63
Figura 8 - Relação entre o índice do balanço nutricional médio (IBNm) e a produtividade do abacaxizeiro 'Pérola'.	66
Figura 9 - Ponto de inflexão obtido na relação entre produtividade e função cumulativa da variância, com base em dados de 265 amostras foliares de abacaxizeiro 'Pérola'.	70
Figura 10 - Relação entre o Índice de desequilíbrio nutricional (CND-r ²) e a distância de Mahalanobis (D ²) nas amostras da população de alta produtividade.	74
Figura 11. Ordem de limitação para os nutrientes N, P, K, S, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn, Mn e B, na população de baixa produtividade, segundo a metodologia CND, para o abacaxizeiro 'Pérola'.	78

Figura 12. Relação entre a produtividade e o índice de desequilíbrio nutricional (CND-r ²) para o abacaxizeiro ‘Pérola’ na região dos Tabuleiros Costeiros – PB.	80
Figura 13 - Particionamento Cate-Nelson para a relação entre os índices CND-r ² e a produtividade das 265 amostras foliares do abacaxizeiro ‘Pérola’ cultivado nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba. VPN: valor preditivo negativo; VPP: valor preditivo positivo; Sens: sensibilidade; Esp: especificidade; Acc: acurácia.	81
Figura 14 - Relação entre o índice do balanço nutricional médio (IBNm) e as variáveis de qualidade peso do fruto (A), SS/AT (B) e firmeza (C).	99
Figura 15 - Ordem de limitação para os nutrientes N, P, K, S, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn, Mn e B, a partir da população de baixa qualidade, segundo metodologia DRIS, para o abacaxizeiro ‘Pérola’	101
Figura 16 - Particionamento Cate-Nelson para a relação entre os índices IBN e a variável peso do fruto. Para o abacaxizeiro ‘Pérola’ cultivado na região de Tabuleiros Costeiros da Paraíba. VPN: valor preditivo negativo; VPP: valor preditivo positivo; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade; ACC: acurácia.	104
Figura 17 - Particionamento Cate-Nelson para a relação entre os índices IBN e a variável SS/AT. Para o abacaxizeiro ‘Pérola’ cultivado na região de Tabuleiros Costeiros da Paraíba. VPN: valor preditivo negativo; VPP: valor preditivo positivo; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade; ACC: acurácia	104
Figura 18 - Particionamento Cate-Nelson para a relação entre os índices IBN e a variável firmeza. Para o abacaxizeiro ‘Pérola’ cultivado na região de Tabuleiros Costeiros da Paraíba. VPN: valor preditivo negativo; VPP: valor preditivo positivo; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade; ACC: acurácia	105
Figura 19 - Ponto de inflexão obtido na relação entre o índice de qualidade e a função cumulativa da variância, com base em dados de 158 amostras foliares de abacaxizeiro ‘Pérola’.	108
Figura 20. Relação entre o índice de qualidade e o índice de desequilíbrio nutricional global (CND-r ²) na população de referência, para o abacaxizeiro ‘Pérola’ na região dos tabuleiros Costeiros - PB	117
Figura 21 - Particionamento Cate-Nelson para a relação entre os índices CND-r ² e a produtividade, de 158 amostras foliares do abacaxizeiro ‘Pérola’ cultivado nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba. VPN: valor preditivo negativo; VPP: valor preditivo positivo; Sen: sensibilidade; Esp: especificidade; Acc: acurácia.	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Níveis críticos foliares (NC) e faixas de suficiência (FS) de macro e micronutrientes para o abacaxizeiro na literatura.....	20
Tabela 2- Atributos químicos e granulometria do solo das áreas experimentais, na camada de 0.00 a 0,20m, antes da instalação dos experimentos.....	35
Tabela 3- Níveis e doses de N, P, K, S, calagem e micronutrientes dos tratamentos avaliados	36
Tabela 4- Estatísticas descritivas de 270 amostras para as variáveis produtividade, teores foliares de macro e micronutrientes do abacaxizeiro 'Pérola' na região dos Tabuleiros Costeiros Paraibanos	53
Tabela 5- Média (\bar{x}) e desvio-padrão (s) das relações log-transformadas dos nutrientes, obtidas da subpopulação de alta produtividade em amostras foliares de abacaxizeiro 'Pérola'	56
Tabela 6- Modelos estatísticos das relações entre produtividade e índices DRIS para os nutrientes avaliados no abacaxizeiro 'Pérola'.....	58
Tabela 7- Normas DRIS para o abacaxizeiro 'Pérola' estabelecidas nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba, comparadas com as normas disponíveis na literatura ..	59
Tabela 8- Modelos estatísticos dos índices DRIS de cada nutriente em função dos respectivos teores foliares, nível crítico (NC), limite inferior (LI) e limite superior (LS) da faixa de suficiência dos macronutrientes e micronutrientes para o abacaxizeiro 'Pérola' obtidos pela metodologia DRIS	60
Tabela 9- Níveis críticos foliares (NC) e faixas de suficiência (FS) para macronutrientes obtidos pelo método DRIS para o abacaxizeiro, comparado aos resultados da literatura.....	61
Tabela 10- Níveis críticos foliares (NC) e faixas de suficiência (FS) para micronutrientes obtidos pelo método DRIS para o abacaxizeiro, comparado aos resultados da literatura.....	61
Tabela 11- Estatísticas descritiva realizada para as variáveis produtividade e nutrientes em 265 amostras foliares de abacaxizeiro 'Pérola' na região dos Tabuleiros Costeiros Paraibanos	71
Tabela 12- Normas CND (média e desvio padrão) da população de referência para o abacaxizeiro 'Pérola' na região dos Tabuleiros Costeiros paraibanos	73

Tabela 13- Modelos estatísticos da produtividade em função dos índices CND, para os nutrientes avaliados no abacaxizeiro ‘Pérola’	75
Tabela 14- Modelos estatísticos dos índices CND em função do teor foliar de cada nutriente, nível crítico (NC), limite inferior (LI) e limite superior (LS) da faixa de suficiência dos macronutrientes e micronutrientes para o abacaxizeiro ‘Pérola’ obtidos pela metodologia CND	76
Tabela 15- Níveis críticos (NC) e faixas de suficiência (FS) para macronutrientes obtidos pelo método CND e valores de referência disponíveis na literatura	77
Tabela 16- Níveis críticos (NC) e faixas de suficiência (FS) para micronutrientes obtidos pelo método CND e valores de referência disponíveis na literatura	78
Tabela 17- Cálculo do Qui-quadrado (χ^2), para as frequências observadas (%) de N, P, K, S, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn, Mn e B como nutriente limitante primário por deficiência de acordo com o potencial de resposta à adubação (PRA) pelos métodos DRIS e CND	83
Tabela 18- Frequência de diagnose do estado nutricional de N, P, K, S, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn, Mn e B determinada pelos métodos DRIS e CND, em 265 amostras de abacaxizeiro ‘Pérola’ coletadas na região dos Tabuleiros costeiros da Paraíba84	
Tabela 19- Frequência de diagnose do nutriente com reposta positiva e negativa à adubação (p e n), respectivamente, de acordo com o PRA em 265 amostras de abacaxizeiro ‘Pérola’ coletadas na região dos Tabuleiros Costeiros da Paraíba, utilizando as metodologias DRIS e CND.....	85
Tabela 20- Frequência de talhões com diagnoses concordantes do estado nutricional, determinadas pelos métodos DRIS e CND, em 265 amostras de abacaxizeiro ‘Pérola’ coletadas na região dos Tabuleiros Costeiros da Paraíba87	
Tabela 21- Valores médios dos índices DRIS e CND em 265 amostras de abacaxizeiro ‘Pérola’ coletadas na região dos Tabuleiros costeiros da Paraíba88	
Tabela 22- Teores foliares de macro e micronutrientes associadas as variáveis peso do fruto, ratio e firmeza para separar as populações de alta e baixa produtividade	89
Tabela 23- Média (\bar{x}) e desvio-padrão (s) das relações log-transformadas dos nutrientes em amostras foliares, obtidas da subpopulação de referência para as variáveis Produtividade (PROD), relação sólidos solúveis/acidez titulável (SS/AT), peso do fruto (PF) e firmeza (FIR).....	90

Tabela 24- Níveis críticos foliares (NC) e faixas de suficiência (FS) para macronutrientes no abacaxizeiro 'Pérola', para as variáveis peso do fruto, ratio e firmeza, obtidos pelo método DRIS.....	96
Tabela 25- Níveis críticos foliares (NC) e faixas de suficiência (FS) para micronutrientes no abacaxizeiro 'Pérola', para as variáveis peso do fruto, ratio e firmeza, obtidos pelo método DRIS.....	96
Tabela 26- Resultados da análise de componentes principais para as variáveis relacionadas à qualidade das infrutescências de abacaxizeiro 'Perola' cultivado nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba.....	107
Tabela 27- Resumo da estatística descritiva para as variáveis de qualidade e teores de macro e micronutrientes em 158 amostras de abacaxizeiro 'Pérola' na região dos Tabuleiros Costeiros Paraibanos.....	109
Tabela 28- Teores foliares médios de macro e micronutrientes, em função das variáveis PF e IQ nas populações de alta e baixa qualidade.....	111
Tabela 29- Normas CND (média e desvio padrão) da população de referência para a qualidade do abacaxizeiro 'Pérola' cultivado na região dos Tabuleiros Costeiros paraibanos.....	112
Tabela 30- Valores médios das variáveis multinutrientes, em função das variáveis PF e IQ nas populações de alta e baixa qualidade.....	113
Tabela 31- Modelos estatísticos dos índices CND em função de cada nutriente, nível crítico (NC), limite inferior (LI) e limite superior (LS) da faixa de suficiência de macronutrientes e micronutrientes para o abacaxizeiro 'Pérola', obtidos pelo método CND.....	113
Tabela 32- Níveis críticos foliares (NC) e faixas de suficiência (FS) de macronutrientes obtidos pelos métodos CND-Qualidade, CND-Produtividade e disponíveis na literatura para o abacaxizeiro.....	114
Tabela 33- Níveis críticos foliares (NC) e faixas de suficiência (FS) de micronutrientes obtidos pelos métodos CND-Qualidade, CND-Produtividade e disponíveis na literatura para o abacaxizeiro.....	114

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 ASPECTOS GERAIS DA DIAGNOSE FOLIAR.....	17
2.2 NÍVEL CRÍTICO (NC) E FAIXA DE SUFICIÊNCIA (FS).....	19
2.3 SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNOSE E RECOMENDAÇÃO (DRIS)	20
2.4 DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL (CND).....	24
2.5 VALIDAÇÃO DAS NORMAS.....	26
2.6 RELAÇÃO ENTRE NUTRIÇÃO MINERAL E QUALIDADE.....	31
3 MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1 BANCO DE DADOS.....	33
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	35
3.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS	37
3.4 VARIÁVEIS AVALIADAS.....	39
3.5. PADRÕES NUTRICIONAIS PARA PRODUTIVIDADE	40
3.5.1 Normas DRIS produtividade.....	40
3.5.2 Normas CND produtividade.....	42
3.5.3 Níveis críticos e Faixas de suficiência	44
3.5.4 Validação das normas.....	45
3.5.5 Comparação dos Diagnósticos.....	46
3.6 PADRÕES NUTRICIONAIS PARA QUALIDADE	47
3.6.1 Normas DRIS qualidade.....	47
3.6.2 Normas CND qualidade.....	47
3.6.3 Níveis críticos e faixas de suficiência	49
3.6.4 Validação das normas.....	50
3.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1 DRIS - PRODUTIVIDADE	52
4.1.1 Estabelecimento das Normas	52
4.1.2 Nível crítico e Faixas de Suficiência	60
4.1.3 Diagnóstico nutricional.....	62
4.1.4 Validação das normas.....	65
4.2 CND- PRODUTIVIDADE	70
4.2.1 Estabelecimento das Normas	70
4.2.2 Nível crítico e Faixas de Suficiência	76

4.2.3 Diagnose Nutricional.....	78
4.2.4 Validação das Normas	80
4.3 COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DRIS E CND	82
4.4 VALIDAÇÃO DAS NORMAS.....	103
4.5 CND QUALIDADE.....	107
4.5.1 Estabelecimento das normas.....	107
4.5.2 Níveis Críticos e Faixas de Suficiência	113
4.5.3 Validação das normas.....	116
5 CONCLUSÕES	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122

1 INTRODUÇÃO

O abacaxi (*Ananas comosus comosus*) é a quarta fruta tropical mais consumida no mundo, sendo o abacaxizeiro cultivado em mais de 90 países, distribuídos nos cinco continentes. A abacaxicultura é uma atividade de papel social relevante e de alta rentabilidade econômica, movimentando anualmente cerca de US\$ 2 bilhões (MAIA et al., 2020). Costa Rica, Brasil, Filipinas, Tailândia, Indonésia, China, Índia e Nigéria são os principais países produtores, respondendo por 70% da produção mundial que alcançou, no ano de 2019, 27,4 milhões de toneladas (FAO, 2020).

No Brasil, o agronegócio do abacaxi encontra-se em franca recuperação, sendo os estados do Pará, Paraíba, Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro e Tocantins os principais produtores nacionais (IBGE, 2020). No ano de 2019, a produção nacional foi de 1,62 milhão de t numa área colhida de 67,2 mil ha (IBGE, 2020; CONAB, 2020). Alta dispersão produtiva, concentração da produção, comercialização de frutos *in natura* no mercado interno e baixo nível tecnológico são características predominantes da abacaxicultura nacional (CONAB, 2020).

O estado da Paraíba foi, no ano de 2019, o segundo produtor nacional de abacaxi, com área colhida de 10,1 mil ha e produção de 307 mil t, representando 15% da área colhida e 19% da produção nacional (IBGE, 2020). A zona abacaxicultora paraibana está concentrada nas microrregiões litorâneas, em áreas de Tabuleiros Costeiros, com destaque para os municípios de Pedras de Fogo, Itapororoca, Araçagi, Santa Rita e São Miguel de Taipu, responsáveis por 77% da área colhida e dos frutos comercializados no Estado e, ainda, por 50% dos frutos consumidos na região Nordeste (IBGE, 2020; CONAB, 2020).

A abacaxicultura paraibana se desenvolve basicamente em áreas de agricultura familiar (< 5 ha), utilizando-se a cultivar 'Pérola', sem irrigação e com baixa adoção de tecnologias, incluindo aquelas relacionadas aos aspectos nutricionais (SILVA et al., 2012; MARTINS et al., 2012). Assim, a maioria das recomendações de adubação NPK se baseia em pouca experimentação local e, ou, na adaptação de informações geradas para o abacaxizeiro 'Smooth Cayenne' nas colônias francesas da África (SILVA, 2006). Ademais, a calagem e a adubação com micronutrientes são práticas agrônomicas pouco utilizadas, bem como as análises de solo e foliar (SILVA et al., 2009).

O estado nutricional do abacaxizeiro tem grande influência no crescimento da planta, na produtividade e na qualidade das infrutescências. Assim, a análise do solo e os indicadores da planta (diagnose visual e diagnose nutricional) devem ser usados para subsidiar as estratégias de adubação e o monitoramento nutricional das lavouras (VÁSQUEZ-JIMENEZ & BARTHOLOMEW, 2018).

A existência de padrões nutricionais ou valores de referência é de fundamental importância para a diagnose nutricional das plantas, pois, com base nesses valores, são tomadas decisões relacionadas às práticas de correção de possíveis desequilíbrios nutricionais, com o intuito de garantir a máxima produtividade física, econômica e de qualidade das culturas (PRADO & ROZANE, 2020).

Tradicionalmente, a diagnose nutricional do abacaxizeiro se baseia na utilização de tabelas de interpretação, contendo níveis críticos ou faixas de suficiência, estabelecidas a partir de ensaios de calibração, cujos detalhes são desconhecidos. Alternativamente, tem crescido o interesse pela utilização de ferramentas de diagnose com maior acurácia. Contudo, os padrões nutricionais disponíveis ainda são escassos e restritos a poucas cultivares e nutrientes (VÁSQUEZ-JIMENEZ & BARTHOLOMEW, 2018).

O método da diagnose da composição nutricional (CND) é uma evolução dos métodos univariados (nível crítico e faixas de suficiência) e bivariado (DRIS), o qual está baseado em análises de dados composicionais e de componentes principais (PARENTE E DAFIR, 1992). É considerado, dentre os métodos de interpretação, o que melhor expressa o balanço nutricional no tecido vegetal, razão pela qual tem despertado interesse recente para monitorar o estado nutricional de diferentes grupos de culturas. Todavia, ainda não existem informações sobre a utilização do método CND para o abacaxizeiro na literatura.

Embora existam na literatura vários trabalhos relacionando desequilíbrio nutricional e problemas na qualidade dos frutos e, mesmo sabendo-se que plantas de alta produtividade apresentam composição nutricional diferente de plantas com alta qualidade da produção, os trabalhos relacionando métodos de diagnose, sobretudo os multivariados, com a qualidade da produção ainda são incipientes. Assim, o estabelecimento e a validação de normas com esse enfoque torna-se

interessante para aperfeiçoar o manejo nutricional de culturas com valorização dos atributos de qualidade, a exemplo do abacaxizeiro.

Pelo exposto, e partindo-se do pressuposto que métodos multivariados são mais precisos e acurados do que métodos bivariados na diagnose nutricional das plantas, e que padrões nutricionais baseados na maximização da produtividade diferem daqueles que visam maximizar a qualidade da produção, objetivou-se nesta pesquisa estabelecer e validar valores foliares de referência utilizando-se os métodos DRIS e CND que maximizem a produção e a qualidade do abacaxizeiro 'Pérola', cultivado na região de Tabuleiros Costeiros da Paraíba.

2 REVISÃO DE LITERATURA

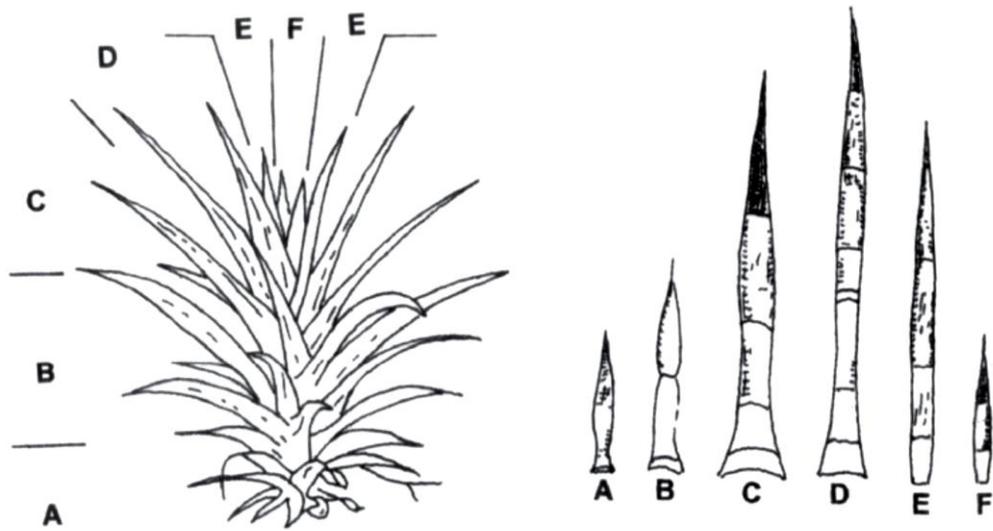
2.1 ASPECTOS GERAIS DA DIAGNOSE FOLIAR

A diagnose nutricional, por meio da análise foliar, consiste numa ferramenta operacional eficaz para o manejo nutricional das culturas, o que se deve aos relacionamentos entre o estado nutricional e o desempenho da planta (produtividade e, ou, qualidade), e entre a composição foliar e o estado nutricional da planta (GOTT et al., 2014; PARENT et al., 2020). Todavia, essas relações são influenciadas por diversos fatores não nutricionais inerentes à planta (espécie, cultivar, estado vegetativo, características do sistema radicular, etc.) e ao ambiente (constantes climáticas, disponibilidade de água e nutrientes no solo, tipo e manejo do solo, e interações entre nutrientes) (CANTARUTTI et al., 2007; SOUZA et al., 2013).

A composição mineral de tecidos diagnósticos expressa a concentração de nutrientes em relação à matéria seca, e tem sido muito utilizada para avaliar o *status* dos nutrientes isoladamente, ou seja, sem interação uns com os outros. Contudo, quando os nutrientes interagem nos tecidos, suas proporções ou concentrações mudam relativamente entre si, como resultado do sinergismo, do antagonismo ou da neutralidade, produzindo, portanto, uma ressonância dentro do espaço fechado da composição do tecido vegetal (PARENT, 2011).

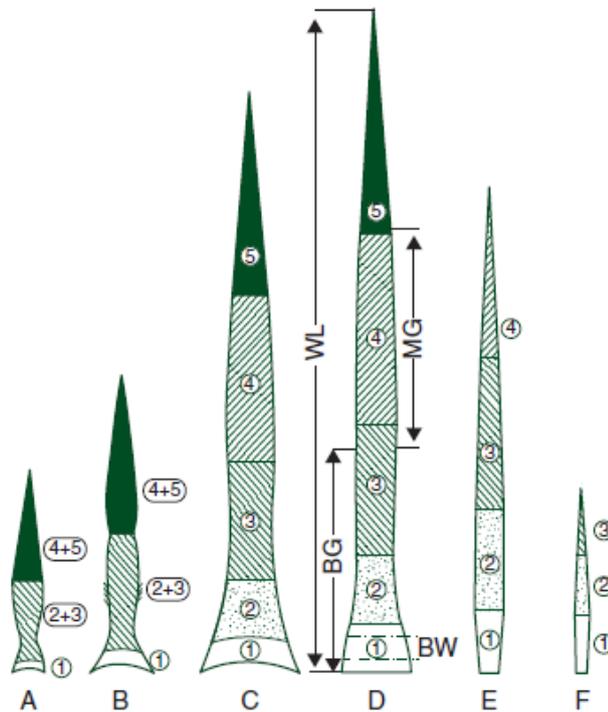
O sucesso da diagnose foliar depende do cumprimento adequado de três etapas principais: a) obtenção de padrões regionais de referência; b) normatização dos procedimentos de amostragem, preparo e análise de tecidos, e; c) interpretação dos resultados analíticos (PARENT, 2011). Para o abacaxizeiro utiliza-se a folha 'D' (Figura 1), mas há falta de padronização quanto à época de amostragem (cinco, sete ou nove meses após o plantio e/ou, antes da indução floral) e a parte da folha a ser analisada (clorofilada, aclorofilada ou inteira) (Figura 2), o que demanda atenção e cautela nas comparações (SIEBENEICHLER et al., 2002; VÁSQUEZ-JIMENEZ & BARTHOLOMEW, 2018).

Figura 1- Distribuição das folhas do abacaxizeiro, de acordo com a idade (A – mais velha; F – mais nova).



Fonte: Py, (1987).

Figura 2- Categorias de folhas do abacaxizeiro (A-F) e seções foliares: 1 - basal não clorofilada; 2 - transicional subclorofilada; 3 - inferiores clorofiladas; 4 - intermediárias clorofiladas; 5 - terminal clorofilada. As seções da folha D usadas na análise foliar são: BW - terço médio do tecido basal branco; BG - terço inferior do tecido basal verde; MG - terço médio do tecido verde; WL - folha D inteira.



Fonte: Vásquez-Jimenez & Bartholomew (2018)

A etapa de interpretação dos resultados da análise foliar consiste em comparar os resultados analíticos da amostra em teste com as normas ou padrões, obtidos a partir de populações altamente produtivas em lavouras comerciais, sob condições de solo, clima e manejo variadas e com equilíbrio nutricional adequado (SERRA et al., 2010; PRADO & ROZANE, 2020). Contudo, quando não se dispõe destes levantamentos, o estabelecimento de normas ou padrões gerados a partir de ensaios de calibração, pode fornecer normas ou padrões tão ou mais confiáveis do que aqueles obtidos a partir de lavouras comerciais (CAMACHO et al., 2012).

A interpretação dos resultados analíticos da amostra em teste pode ser realizada a partir de métodos de interpretação classificados como estáticos ou dinâmicos (PRADO & ROZANE, 2020). Os métodos estáticos caracterizam-se pela comparação entre a concentração do nutriente na amostra em teste e a sua norma ou padrão, enquanto os métodos dinâmicos usam relações entre dois ou mais nutrientes. Nível crítico (NC), faixa de suficiência (FS), fertigramas, desvio do percentual ótimo (DOP) e índices balanceados de Kenworth (IBK) são exemplos de métodos estáticos, enquanto o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) e a Diagnose da Composição Nutricional (CND) são exemplos de métodos dinâmicos (CANTARUTTI et al., 2007).

2. 2 NÍVEL CRÍTICO (NC) E FAIXA DE SUFICIÊNCIA (FS)

Nível crítico e FS são os métodos estáticos mais utilizados para a avaliação do estado nutricional das culturas, representando, respectivamente, o teor de determinado nutriente no tecido foliar associado a 90 ou 95 % da produtividade ou crescimento máximo ou faixas de teores consideradas insuficientes, adequadas ou tóxicas (CANTARUTTI et al., 2007; PARENT et al., 2020).

Apesar da facilidade de utilização e simplicidade de interpretação, tais métodos têm o inconveniente de não considerarem as interações nutricionais, serem sensíveis aos efeitos de concentração e diluição no tecido foliar, e não possibilitarem identificar o nutriente mais limitante em situações de carências múltiplas (WADT et al., 1999).

Estão disponíveis na literatura diversas publicações reportando os níveis críticos e as faixas de suficiência de nutrientes para o abacaxizeiro, as quais são tradicionalmente utilizadas como guia básico para a interpretação do estado nutricional da cultura (Tabela 1).

Contudo, na maioria dos casos, esses valores de referência foram obtidos utilizando abordagens univariadas, as quais não contemplam as interações entre os nutrientes existentes, não possibilitam identificar situações em que mais de um nutriente está desequilibrado, além de serem sensíveis a efeitos de concentração e diluição no tecido foliar (PARENT E DAFIR, 1992).

Tabela 1-Níveis críticos foliares (NC) e faixas de suficiência (FS) de macro e micronutrientes para o abacaxizeiro na literatura

Fontes	Métodos	N	P	K	S	Ca	Mg
		-----g kg ⁻¹ -----					
Jones et al. (1991)	NC	-	-	-	-	-	-
	FS	15-17	< 1,0	22-30	-	8-12	< 3,0
Malavolta et al. (1997)	NC	20,0	2,1	25,0	2,0	3,0	4,0
	FS	20,0-22,0	2,1-2,3	25,0-27,0	2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0
Bataglia e Santos (2001)	NC	15,0	0,8	25,0	-	3,0	4,0
	FS	15,0-17,0	0,8-1,2	25,0-27,0	-	3,0-4,0	4,0-5,0
Cantarutti et al. (2007)	NC	-	-	-	-	-	-
	FS	15-17	0,8-1,2	22-30	2-3	8-12	3-4
Malézieux & Bartholomew (2013)	NC	-	-	-	-	-	-
	FS	15-17	~ 1,0	22-30	-	8-12	~ 3,0
		B	Cu	Fe	Mn	Zn	
		-----mg kg ⁻¹ -----					
Jones et al. (1991)	NC	-	-	-	-	-	-
	FS	> 30	< 10	100-200	50-200	> 20	
Malavolta et al. (1997)	NC	30,0	9,0	100	50	10	
	FS	30-40	9-12	100-200	50-200	10-15	
Bataglia e Santos (2001)	NC	50,0	5,0	50	30,0	30,0	
	FS	50-100	5-10	50-200	30-100	30-100	
Cantarutti et al. (2007)	NC	-	-	-	-	-	
	FS	20-40	5-10	50-200	30-100	5-15	
Malézieux & Bartholomew (2013)	NC	-	-	-	-	-	
	FS	30	5-10	100-200	50-200	10	

Fonte: RODRIGUES, João (2020).

2. 3 SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNOSE E RECOMENDAÇÃO (DRIS)

O DRIS é um método de interpretação dinâmico que utiliza abordagem bivariada, ou seja, contempla a interação entre os nutrientes dois a dois. Originalmente proposto por Beaufils (1973) e posteriormente modificado por diversos

autores (JONES, 1981; BEVERLY, 1987), o DRIS parte da premissa de que o equilíbrio nutricional da planta está melhor representado quando consideradas as relações duais entre os nutrientes, ao invés do teor do nutriente no tecido foliar de forma isolada (JONES, 1981).

O método DRIS baseia-se na obtenção de índices para cada nutriente, calculados por meio de funções que expressam as relações (direta e inversa) do teor de cada nutriente na amostra em teste com os teores dos demais nutrientes, obtidos a partir de amostras provenientes de uma população de alta produtividade ou de referência (NACHTIGALL & DECHEN, 2010; PARTELLI et al., 2014).

O passo inicial para a obtenção dos índices DRIS consiste no estabelecimento das normas DRIS, ou seja, a média aritmética, o desvio-padrão e o coeficiente de variação das relações duais entre os nutrientes da população de referência (JONES, 1981). Esse procedimento demanda quantidade elevada de dados, teores de nutrientes e produtividade, os quais podem ser obtidos em levantamentos de lavouras comerciais (SEMA et al., 2010), ensaios de adubação ou pela combinação das duas situações (LÓPEZ-MONTOYA et al., 2018). Em geral, recomenda-se que pelo menos 10% do banco de dados componha a subpopulação de alta produtividade (CANTARUTTI et al., 2007).

Pesquisas recentes têm mostrado que a utilização de normas de abrangência regionalizada, ao invés de normas universalizadas, proporciona maior confiabilidade na diagnose do estado nutricional das plantas e menor variabilidade nos resultados obtidos (CAMACHO et al., 2012), contribuindo para o uso mais racional de insumos e o aumento da produtividade das culturas (PARTELLI et al., 2014).

Estabelecidas as normas e calculados os índices DRIS para cada nutriente é possível classificar os nutrientes em ordem de importância na limitação da produção e, ao mesmo tempo, identificar a intensidade de exigência de determinado elemento pela planta (CRESTE, 2008). Adicionalmente, obtém-se o Índice de Balanço Nutricional (IBN), calculado a partir do somatório dos valores dos índices DRIS obtidos para cada nutriente, o qual possibilita comparar o equilíbrio nutricional de diversas lavouras ou talhões entre si (MOURÃO FILHO, 2004).

Em consequência do estado nutricional da planta, os índices DRIS podem assumir valores negativos ou positivos. Quando os valores são negativos significa

que existe uma carência do nutriente em questão, em relação aos demais nutrientes. Quando os valores são positivos significa que este nutriente está em excesso. Quanto mais próximos de zero estiverem os valores, mais equilibrada nutricionalmente estará a planta para o nutriente estudado (WADT et al., 2012).

O método DRIS apresenta inúmeras vantagens em relação aos métodos estáticos, a saber: a) contempla o efeito das interações nutricionais; b) não sofre influência dos efeitos de concentração e diluição dos nutrientes no tecido foliar; c) permite hierarquizar os nutrientes quanto a ordem de limitação; d) apresenta escala contínua e fácil interpretação dos resultados; e) detecta desequilíbrios nutricionais mesmo quando nenhum dos nutrientes avaliados se encontra abaixo do nível crítico; f) fornece um índice de equilíbrio nutricional (IBN) útil para avaliar o efeito conjunto dos teores de todos os nutrientes na produtividade da planta (JONES, 1981; MOURÃO FILHO, 2004; SOUZA et al., 2013).

As principais desvantagens do método DRIS incluem a maior dificuldade nos cálculos dos índices (superada pelo uso de aplicativos computacionais) e a dependência dos índices DRIS, o que faz com que um índice muito elevado influencie negativamente os demais, podendo-se diagnosticar deficiência para um nutriente que se encontra em concentrações adequadas. Outra desvantagem é que o método DRIS não permite o cálculo da quantidade de nutrientes que deve ser aplicada para corrigir uma determinada deficiência encontrada (MOURÃO FILHO, 2004; CANTARUTTI et al., 2007).

Apesar das limitações apontadas, o método DRIS tem se mostrado uma ferramenta bastante eficiente para avaliar o estado nutricional de diferentes grupos de culturas, inclusive de frutíferas: cupuaçuzeiro (WADT et al., 2012), citros (CAMACHO et al., 2012; DIAS et al., 2013), goiabeira (SOUZA et al., 2013), mangueira (POLITI et al., 2012), bananeira (PEREIRA et al., 2015), coqueiro (SALDANHA et al., 2015), videira (TEIXEIRA et al., 2015), dentre outras. Nestes trabalhos, o método DRIS foi utilizado para diversas finalidades, o que demonstra sua versatilidade: a) gerar normas (SALDANHA et al., 2015); b) estabelecer níveis críticos (TEIXEIRA et al., 2015); c) delimitar faixas de suficiência (CAMACHO et al., 2012) e; d) avaliar o estado nutricional de talhões (MATOS et al., 2018).

Encontram-se na literatura alguns trabalhos referentes a utilização do método DRIS para fins de diagnose nutricional do abacaxizeiro (LAGENEGGER & SMITH,

1978; ANGELES et al., 1990; TEIXEIRA et al., 2009; SEMA et al., 2010; AGBANGBA et al. 2011; LÓPEZ-MONTOYA et al., 2018). Contudo, constata-se grande variação entre os mesmos quanto aos fatores que influenciam os valores de referência, a saber: condições de clima e solo; cultivar; parte da folha analisada e idade da planta; número de nutrientes avaliados; tamanho e origem do banco de dados (levantamentos em lavouras comerciais ou experimentos de adubação); tamanho e critérios para a definição das subpopulações; fórmula empregada, dentre outros.

Angeles et al. (1990) estabeleceram e validaram normas DRIS preliminares para N, P e K no abacaxizeiro, derivadas pelo método padrão (Beaufilis, 1973), utilizando banco de dados composto por 1.185 observações (ensaios de adubação e lavouras comerciais em 10 países; diferentes cultivares; sem especificação da idade e parte da folha analisada), separadas em alta ($> 60 \text{ t ha}^{-1}$, 650 observações) e baixa produtividade ($< 60 \text{ t ha}^{-1}$, 535 observações). A validação das normas foi feita usando-se grupos independentes de dados publicados de experimentos fatoriais com respostas positivas e significativas para N, P e K. O método DRIS, ao contrário do NC, foi eficiente em diagnosticar a ordem de limitação nutricional da cultura, sendo as normas estabelecidas ($N = 14,3 \text{ g kg}^{-1}$; $P = 2,5 \text{ g kg}^{-1}$ e $K = 32,4 \text{ g kg}^{-1}$) consideradas parâmetro diagnóstico mais adequado do que os NC para a diagnose de N, P e K.

Teixeira et al. (2009) estabeleceram normas DRIS preliminares para N, P, K, Ca e Mg no abacaxizeiro cultivar 'Smooth Cayenne', utilizando as fórmulas de Walworth & Summer (1987) e Jones (1981), e banco dados composto de 104 amostras (folha 'D' inteira, coletada na época de indução floral; população de alta produtividade = 65 t ha^{-1}) proveniente de quatro experimentos de adubação no estado São Paulo. As normas estabelecidas foram similares àquelas propostas por Lagenegger & Smith (1978) na África do Sul, sendo a produtividade afetada negativamente pelo desequilíbrio nutricional das plantas (Produtividade = $69,98 - 0,106 \times \text{IBN}$; $R^2 = 0,44^{***}$). Os níveis críticos (g kg^{-1}), derivados a partir de regressões múltiplas entre teores foliares e índices DRIS, foram os seguintes: $N = 12 \pm 0,3$; $P = 0,92 \pm 0,02$; $K = 21,4 \pm 0,6$; $Ca = 4,0 \pm 0,1$ e $Mg = 2,8 \pm 0,1$.

Utilizando banco de dados constituído de 324 observações (lavouras comerciais; 4 cm da porção basal, coletada aos 5-6 meses após o plantio; população

de referência = 55-72 t ha⁻¹) e a fórmula original de Beaufils (1973), Sema et al. (2010) estabeleceram normas DRIS e as seguintes faixas de suficiência (g kg⁻¹ para macro e mg kg⁻¹ para micronutrientes) para o abacaxizeiro cultivar 'Kew' na Índia: N = 12,1-18,5; P = 1,3-1,8; K = 11,9-16,2; Ca = 2,7- 3,5; Mg = 4,3-5,6; Fe = 78,4-102,5; Mn = 41,5-58,3; Cu = 7,4-10,2 e Zn = 12,2-15,8.

Normas DRIS preliminares e níveis críticos de N, P, K, Ca, Mg, S e Zn para as cultivares Pérola e Smooth Cayenne foram estabelecidos por Agbangba et al. (2011ab) em lavouras comerciais de Benin, África. As normas foram derivadas pelo método padrão (Beaufils, 1973), utilizando-se banco de dados composto por 60 observações (lavouras comerciais; terço inferior da folha 'D' aos 45 dias após indução floral; população de referência > 66,7 t ha⁻¹ para 'Pérola' e > 88,0 t ha⁻¹ para 'Smooth Cayenne'). Os níveis críticos foram os seguintes: N = 5,9 e 6,8 g kg⁻¹; P = 2,6 e 2,3 g kg⁻¹; K = 11,0 e 13,6 g kg⁻¹; Ca = 8,7 e 9,7 g kg⁻¹; Mg = 3,6 e 4,0 g kg⁻¹; S = 0,5 g kg⁻¹ ('Smooth Cayenne'); Zn = 11,2 e 8,0 g kg⁻¹, respectivamente, para as cultivares Pérola e Smooth Cayenne.

Recentemente, López-Montoya et al. (2018) utilizaram o método DRIS para estabelecer normas e avaliar o estado nutricional (macro, micronutrientes e sódio) do abacaxizeiro 'MD-2' nas condições edafoclimáticas do município de Santander de Quilichao, Departamento de Cauca, Colômbia. Foram utilizados os procedimentos preconizados por Beaufils (1973) e um banco de dados contendo 72 observações (a partir de ensaio de adubação com doses de N; folhas de diferentes tipos, coletadas aos três, seis, nove e 12 meses após o plantio; população de referência > 113,0 t ha⁻¹). Foram estabelecidas 132 relações foliares, das quais apenas 66 foram consideradas adequadas (considerando as diferenças significativas entre as variâncias). Houve variação na ordem de limitação, em função da época de coleta, prevalecendo maiores deficiências de B e Zn e menores de Cu na maioria das amostragens.

2. 4 DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL (CND)

A utilização de abordagens mais robustas (multivariadas, por exemplo), associadas ao emprego de planilhas eletrônicas e programas estatísticos, tem contribuído para o avanço e o refinamento das técnicas de diagnose foliar (PRADO, 2008; PRADO & ROZANE, 2020). Nesse sentido, Parent & Dafir (1992) propuseram

o método da Diagnose da Composição Nutricional (CND - Compositional Nutrient Diagnosis), baseado no método da análise composicional de Aitchison (1986), que analisa os dados num enfoque de variável multinutriente.

O método CND possui um enfoque multivariado que considera as interações entre todos os nutrientes de forma simultânea. Nessa abordagem, o tecido foliar é compreendido como um sistema fechado a 100 %, o qual é formado pelos componentes quantificados na análise (nutrientes) e pelos componentes não quantificados (demais elementos químicos como o Al, Na, além de carboidratos, aminoácidos, etc). Assim, todos os componentes que não forem identificados na análise foliar são reunidos em um termo chamado de valor R ou valor de enchimento (PARENT & DAFIR, 1992).

De forma semelhante ao DRIS, o método CND incorpora índices nutricionais no diagnóstico; contudo, o método CND utiliza no denominador da relação nutricional a média geométrica da composição nutricional na amostra foliar (relações multivariadas), em vez de cada nutriente individualmente, como ocorre no DRIS (relações bivariadas) (KURIHARA et al., 2005; PRADO & ROZANE, 2020).

O uso da média geométrica pelo CND é uma vantagem em relação ao DRIS, tendo em vista que na execução dos cálculos a média geométrica atribui pesos diferentes para cada nutriente, pois apesar de todos os nutrientes serem essenciais à planta, alguns influenciam na produtividade e na qualidade do fruto com maior magnitude (PRADO E ROZANE, 2020)

Os índices nutricionais são calculados a partir de variáveis multinutrientes (V_i), as quais consideram a média geométrica da composição nutricional da planta (G) e a média aritmética das variáveis multinutrientes (v_i) e seus desvios-padrão (s_i) para a população de referência, ou seja, para a população de alta produtividade usada para gerar as normas. Dessa forma, os índices que tendem a zero denotam maior equilíbrio nutricional (CANTARUTTI et al., 2007; PARENT, 2011).

Embora se assemelhe ao DRIS em alguns pontos, o método CND tem a vantagem de considerar os nutrientes numa mesma unidade, além de possuir melhor fundamentação estatística, pois, o valor de cada nutriente na amostra é corrigido conforme a média geométrica da composição nutricional (DEZORDI et al., 2016; PRADO & ROZANE, 2020). Além disso, possui maior sensibilidade para

diagnosticar desequilíbrios nutricionais ao considerar a interação entre todos os nutrientes na planta (SANTOS et al., 2013. PARENT, 2011). Conforme Parent et al. (1994), o método CND tem base matemática mais robusta para discriminar populações de alta e baixa produtividade.

Assim como o DRIS, o método CND permite a geração de normas nutricionais, obtenção de níveis críticos, faixas de suficiência, além da avaliação do estado nutricional das culturas; ademais, o método CND é capaz de diagnosticar quando mais de um nutriente está desbalanceado e, também, hierarquizar qual nutriente é mais limitante no caso de carências múltiplas (PARENT et al., 1992; PARENT, 2011).

O método CND tem apresentado resultados promissores no estabelecimento de padrões nutricionais de referência para diversas culturas, a saber: algodão (SERRA et al., 2010ab; CAMACHO et al., 2012), arroz (WADT et al., 2013; TOMIO et al., 2015), banana (DEUS et al., 2018; LIMA NETO et al., 2020), batata (PARENT et al., 1994), cana de açúcar (SANTOS et al., 2013), cenoura (DEZORDI et al., 2016), dendê (MATOS et al., 2019), eucalipto (SILVA et al., 2004; SILVA et al., 2005), feijão (PARTELLI et al., 2014), laranja (DIAS et al., 2017; CAMACHO et al., 2012), manga (POLITI et al., 2012; ALI, 2018), milho (PARENT et al., 2009), pimenta longa (WADT et al., 2016), soja (URANO et al., 2007). Contudo, inexistem informações sobre a aplicação do método CND para o abacaxizeiro.

2. 5 VALIDAÇÃO DAS NORMAS

O processo de validação tem por objetivos verificar se a diagnose nutricional realizada para a cultura está correta, comprovando se os nutrientes que foram diagnosticados como desbalanceados de acordo com o método utilizado não foi resultado do acaso (NOWAKI, 2017; PARENT et al., 2020).

Na literatura ainda não existe uma abordagem padrão estabelecida para a validação das normas nutricionais obtidas pelos métodos tradicionais de avaliação do estado nutricional; deste modo, não existe consenso entre os pesquisadores quanto o método mais adequado para validação das normas (NOWAKI, 2017).

A validação das normas nutricionais pode ser feita a partir do levantamento nutricional de lavouras comerciais. Na safra seguinte, são executados ensaios de

adubação testando doses crescentes dos nutrientes diagnosticados como limitantes à produção da cultura, observando-se se há resposta por parte da planta aos nutrientes aplicados; posteriormente, realiza-se novo diagnóstico nutricional para verificar se o segundo diagnóstico nutricional é semelhante ao primeiro (NOWAKI, 2017; SILVA et al., 2020).

Essa abordagem foi utilizada por Reis Junior & Monnerat (2003) na cultura da cana de açúcar, nas condições edafoclimáticas do Rio de Janeiro. Os autores observaram que nas amostras oriundas de lavouras comerciais os nutrientes que limitaram a produção foram Ca, Mg, Cu e Zn. Após os diagnósticos realizados nos ensaios de adubação da safra seguinte verificaram-se resultados semelhantes, sendo Ca Mg, Cu e Zn novamente identificados como limitantes.

Recentemente, Silva et al. (2020) utilizaram essa abordagem com o intuito de validar o diagnóstico nutricional para P em cana de açúcar, utilizando o método CND. Observaram baixo grau de concordância entre os diagnósticos realizados, pois apenas em 40% dos casos em que as plantas foram diagnosticadas como deficientes em P houve incremento na produtividade quando este nutriente foi fornecido à cultura.

Apesar de simples, essa validação tem a desvantagem de ser bastante onerosa, demandando recursos financeiros, mão de obra qualificada e tempo para sua realização, pois, dependendo da cultura, os experimentos podem durar anos, principalmente em se tratando de espécies frutíferas (SILVA et al., 2003; PARENT et al., 2011).

Além disso, existe a questão da interação, pois a aplicação de doses de um determinado nutriente anteriormente diagnosticado como deficiente pode alterar o balanço nutricional na folha, modificando o próximo diagnóstico realizado para os demais nutrientes, o que pode mascarar os resultados e gerar conclusões inadequadas (SILVA et al., 2020; PARENT et al., 2020). Nesse contexto, o equilíbrio dos nutrientes no tecido foliar torna-se imprescindível na obtenção de produtividades elevadas e frutos de melhor qualidade, tendo em vista a influência do balanço nutricional da planta nessas variáveis (VÁSQUEZ-JIMENEZ & BARTHOLOMEW, 2018).

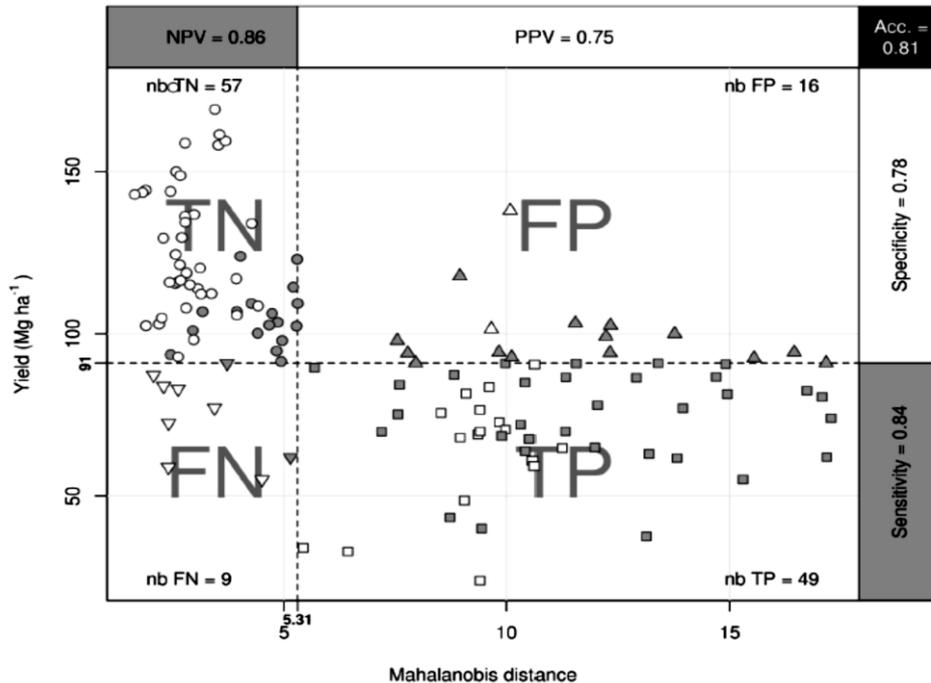
O relacionamento entre produtividade e balanço nutricional, realizado por métodos bivariados, consiste numa outra forma para validação das normas nutricionais. Por esse procedimento, verifica-se a correlação entre a produtividade e o índice de balanço nutricional médio (IBNm) obtido no diagnóstico nutricional; deste modo, é possível verificar se o rendimento da cultura esteve associado ao estado nutricional da mesma (WADT et al., 1998; WADT et al., 1999).

Souza et al. (2013) testaram esse procedimento utilizando dados e informações provenientes de um ensaio de adubação orgânica e mineral com a goiabeira 'Paluma' no estado de São Paulo, durante seis anos consecutivos. Os autores observaram que os dados de IBNm se relacionaram de forma linear negativa com a produtividade da cultura, apresentando um valor de R^2 de 42% indicando que em 42% dos casos a produtividade esteve associada ao estado nutricional das plantas, e que em 58% dos casos a produtividade esteve associada aos demais fatores de produção de ordem não nutricional.

Nachtigal & Dechen (1991) constataram que os coeficientes de correlação entre o IBN e a produtividade da população de referência, embora significativos, foram baixos (0,12 a 0,17), resultados que associaram ao fato de que nesta relação participaram apenas plantas de média a alta produtividade, as quais, possivelmente, já se apresentavam equilibradas nutricionalmente. Relações entre o IBN e a produtividade com dispersão acentuada de pontos, originando valores relativamente baixos de R^2 , também foram obtidas por Wadt et al. (1998) para eucalipto e por Wadt et al. (1999) para o cafeeiro.

Além dessas técnicas, a validação pode ser feita com base no procedimento da partição de Cate-Nelson (NELSON & ANDERSON, 1977). Esse procedimento objetiva separar o banco de dados em quadrantes, selecionando as amostras foliares afetadas por fatores apenas de ordem nutricional em quatro quadrantes específicos (VN – Verdadeiro Negativo; FP -Falso Positivo; VP - Verdadeiro Positivo e FN - Falso Negativo) (PARENT et al., 2013) (Figura 3).

Figura 3 - Validação das normas pelo método de partição de Cate & Nelson para tomateiro. FN - Falso Negativo; FP- Falso Positivo; TN – Verdadeiro Negativo; TP – Verdadeiro Positivo; NPV – Valor Preditivo Negativo; PPV – Valor Preditivo Positivo; acurácia de 81%; especificidade de 78% e sensibilidade de 84%.



FONTE: NOWAKI et al. (2017).

De acordo com Parent et al. (2013), esses quadrantes significam: a) VN - populações de alta produtividade, corretamente identificadas como equilibradas (abaixo do valor ou ponto crítico de previsão), sendo o estado nutricional adequado; b) FP - populações de alta produtividade, incorretamente identificadas como desequilibradas (acima do valor crítico); indício de consumo de luxo ou eficiência elevada do uso de nutrientes; c) VP - populações de baixa produtividade, corretamente identificadas como desequilibradas (acima do valor crítico), em que pelo menos um elemento causa desequilíbrio nutricional; d) FN - populações de baixa produtividade, incorretamente identificadas como equilibradas (abaixo do valor crítico); indicativo de impacto de outros fatores limitantes à produtividade da cultura.

Após a determinação dos quadrantes, realiza-se a interpretação do teste diagnóstico que, de acordo com Parent et al. (2013), consiste na determinação dos seguintes parâmetros: a) Valor Preditivo Negativo (VPN): probabilidade de um diagnóstico equilibrado retornar um alto desempenho, calculado como $VN / (VN + FN)$; b) Valor Preditivo Positivo (VPP): probabilidade de um diagnóstico de

desequilíbrio retornar um baixo desempenho, calculado como $VP / (VP + FP)$ (NOWAKI, 2017).

Adicionalmente, e ainda com base nos quadrantes obtidos, são calculados os parâmetros sensibilidade, especificidade e acurácia do banco de dados, os quais possuem os seguintes significados: a) acurácia: probabilidade de uma observação ser corretamente identificada como equilibrada ou desequilibrada, calculado como $(VN + VP) / (VN + FN + VP + FP)$; b) especificidade: probabilidade de uma observação de elevada produtividade estar equilibrada, calculado como $VN / (VN + FP)$; c) sensibilidade: probabilidade de uma observação de baixo desempenho estar desequilibrada, calculada como $VP / (VP + FN)$ (PARENT et al., 2013; PARENT et al., 2020).

O método de partição de Cate-Nelson foi utilizado por Marchand et al. (2013) para a diagnose nutricional de P em cranberry (*Vaccinium macrocarpon*) no Canadá. Das 167 observações utilizadas, 73 delas foram consideradas verdadeiras positivas (VP) e 25 verdadeiras negativas (VN). Foram detectadas 24 amostras falso positivas (FP), indicando consumo de luxo ou contaminação por nutrientes, e 45 falso negativas (FN), indicando que um fator diferente dos quantificados no vetor de composição estava limitando a produção. Ademais, foram obtidos 58 % de acurácia e 75% de sensibilidade.

Nowaki (2017) aplicaram o método de partição de Cate-Nelson na cultura do tomate, utilizando um banco de dados contendo 131 amostras foliares, obtendo 81% de acurácia, 78% de especificidade, 84% de sensibilidade, 86% de Valor Preditivo Negativo e 75% de Valor Preditivo Positivo para uma produtividade de 91 t ha⁻¹. Os autores concluíram que o método de partição Cate-Nelson, quando combinado com o “modelo logit”, forneceu informações complementares para melhorar a compreensão entre os fatores nutrição mineral e produção.

Deus et al. (2018) estudaram o balanço nutricional da cultura da banana ‘Prata’ irrigada nas condições edafoclimáticas do município de Missão Velha, Ceará. Na validação pelo método Cate-Nelson, a partição mostrou 8,4% de amostras VN, 3,9% FN, 63,4% VP e 24,3% FP; revelou, ainda, 72% de acurácia, 26% de especificidade, 94% de sensibilidade, 68% de Valor Preditivo Negativo e 72% de Valor Preditivo Positivo para produtividade de 40 t ha⁻¹. Conforme os autores, os

valores de acurácia e especificidade se deveram ao percentual elevado de amostras FP (24,3%), indicando consumo de luxo ou contaminação foliar.

2. 6 RELAÇÃO ENTRE NUTRIÇÃO MINERAL E QUALIDADE

O termo qualidade é relativo, pois o mesmo engloba várias características (físicas, químicas e físico-químicas) desejáveis pelos consumidores. Assim, a qualidade dos frutos torna-se algo subjetivo, tendo em vista que cada mercado consumidor apresenta peculiaridades de exigências (AMORIM et al., 2011).

O estado nutricional tem grande influência no desenvolvimento do abacaxizeiro, especialmente na fase de pré-florescimento, influenciando diretamente a produção e a qualidade. Dessa forma, o estado nutricional das plantas é um fator pré-colheita diretamente relacionado aos atributos de qualidade das infrutescências do abacaxizeiro (LOBO & YAHIA, 2017; RIOS et al., 2018).

De acordo com Paull & Chen (2018), a qualidade das infrutescências do abacaxizeiro inclui aspectos relacionados à aparência, ao aroma e ao sabor, destacando-se os seguintes atributos: coloração da casca, tamanho e massa da infrutescência, acidez titulável (AT), teor de sólidos solúveis (SS) e relação entre sólidos solúveis e acidez titulável (ratio ou SS/AT) (VÁSQUEZ-JIMÉNEZ & BARTHOLOMEW, 2018; PAULL & CHEN, 2018).

Há vários trabalhos relacionando nutrição mineral e qualidade das infrutescências de diferentes cultivares de abacaxi, com predomínio de informações para N, P e K, com destaque para o balanço entre N e K (CAETANO et al., 2013; GUARÇONI & VENTURA, 2011; COELHO et al., 2007; VELOSO et al., 2001; RAMOS et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2015; RIOS et al., 2018; CUNHA et al., 2019; SOULEYMANE et al., 2019). Por outro lado, as informações sobre os efeitos da calagem, enxofre e micronutrientes sobre a qualidade das infrutescências do abacaxizeiro são mais escassas.

Na literatura existem alguns relatos de pesquisas que testaram o uso do método DRIS para estabelecer o balanço nutricional para maximizar a produção e a qualidade de algumas culturas: abacaxi (SUMNER & ANGELES, 1990), café (FARNEZI et al., 2010), laranja (SUSZEK et al., 2017). Entretanto, especificamente para o abacaxizeiro, essas pesquisas não contemplaram todo o balanço nutricional

da planta, tendo em vista que na pesquisa foram estudados apenas os macronutrientes primários; além disso, as variedades utilizadas e as condições edafoclimáticas são diferentes daquelas predominantes no Brasil

Summer & Angeles (1990) relacionaram os valores de IBN, obtidos a partir do método DRIS, com os atributos de qualidade (SS, AT, ratio e produto entre SS e AT) de abacaxizeiros 'Smooth Cayenne', 'Singapore Spanish' e 'Sarawak'. Constataram valores de SS e AT mais baixos associados a valores de IBN alto, indicando que sob estresse nutricional a matéria seca, responsável pela produção de substâncias associadas aos altos teores de açúcar e ácidos, se acumula em quantidades limitadas. Os valores sugeridos como adequados para a obtenção de frutos de melhor qualidade foram: $IBN = 0$; $SS > 12\%$; $AT > 0,45\%$; $ratio < 25$ e produto $SS*AT > 4,5$.

Apesar da importância da nutrição mineral na qualidade da produção, inexistem trabalhos na literatura sobre balanço nutricional, gerados pelos métodos DRIS e CND, e maximização da qualidade das infrutescências do abacaxizeiro cultivar 'Pérola'. Tais informações são imprescindíveis para subsidiar o manejo nutricional da cultura, uma vez que abacaxizeiros nutricionalmente equilibrados têm mais chances de produzir frutos de melhor qualidade, gerando maiores oportunidades de mercado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 BANCO DE DADOS

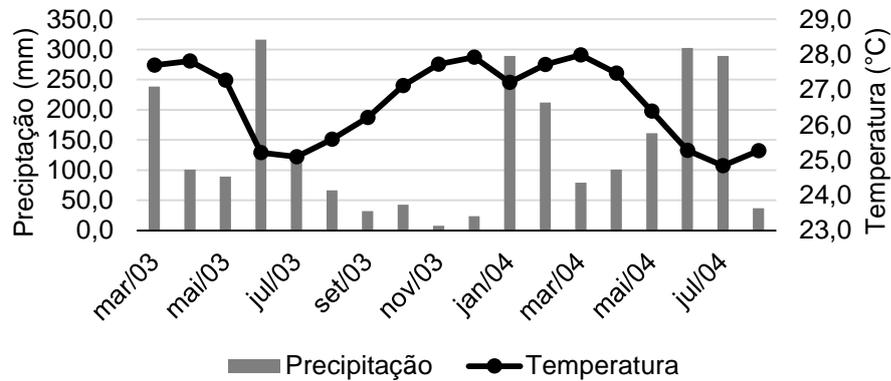
Este trabalho foi realizado a partir de um banco de dados (270 observações), contendo resultados de teores foliares de macro e micronutrientes, produtividade e qualidade de frutos do abacaxizeiro 'Pérola'. Os dados foram obtidos a partir de experimentos de adubação (NPKS, calagem e micronutrientes), realizados em três dos principais municípios da região abacaxicultora paraibana: Santa Rita, Sapé e Itapororoca os quais estão inseridos na mesorregião da Mata Paraibana, na unidade geoambiental de Tabuleiros Costeiros paraibanos.

No município de Santa Rita, o experimento foi conduzido na Fazenda Mumbaba (7°40'68"S; 35°11'82" W e altitude de 26 m), no período de março de 2003 a agosto de 2004. Segundo a classificação de Köppen, o clima local está classificado como As' (quente e úmido), com chuvas de outono-inverno, temperaturas médias entre 22 e 26 °C e precipitação pluviométrica de 1500 mm anuais (MASCARENHAS et al., 2005a). O solo da área experimental foi classificado como Espodossolo Ferri-humilúvico hidromórfico espessarênico (RODRIGUES, 2005).

No município de Sapé, o experimento foi conduzido na Fazenda Buracão (6,9°69'18"S; 35,7°15'96"W e altitude de 47 m), no período de março de 2003 a agosto de 2004. Pela classificação de Köppen, o clima local é do tipo As' (quente e úmido), com chuvas de outono-inverno, temperaturas médias de 26 °C e precipitação pluviométrica de 1600 mm anuais (MASCARENHAS et al., 2005b). O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Amarelo eutrófico abruptico (SILVA, 2018).

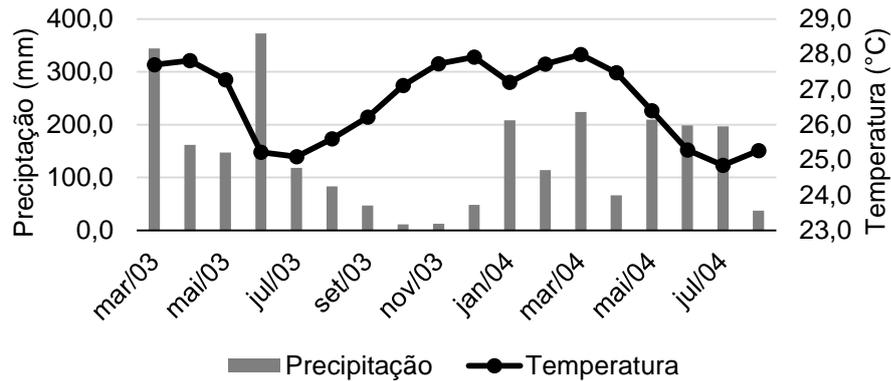
O experimento de Itapororoca foi realizado na Fazenda Quandu (6,8°11' 66"S; 35,3°13'43"W e altitude de 112 m), no período entre dezembro de 2014 a maio de 2016. O clima local, segundo a classificação de Köppen, é do tipo As' (quente e úmido), com chuvas de outono-inverno, temperatura média de 25 °C e precipitação pluviométrica de 1600 mm anuais (MASCARENHAS et al., 2005c). O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico plintossólico (SILVA, 2018).

Figura 4- Valores de Precipitação pluviométrica e temperatura média do ar durante a condução do experimento no município de Sapé-PB.



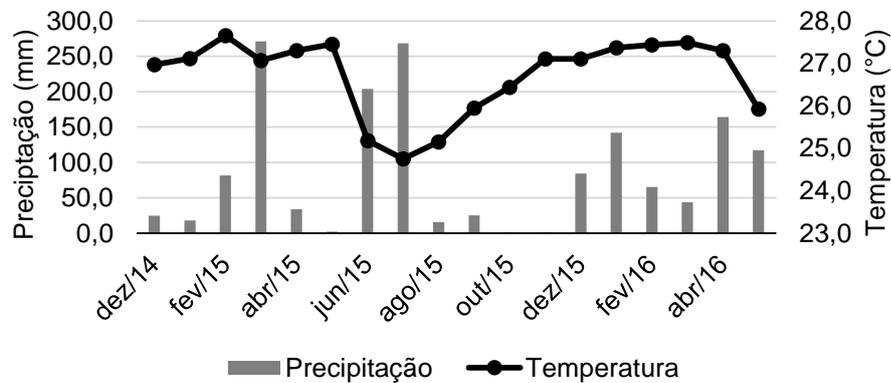
FONTE: AESA e INMET (2020).

Figura 5 - Valores de Precipitação pluviométrica e temperatura média do ar durante a condução do experimento no município de Santa Rita-PB.



FONTE: AESA e INMET (2020).

Figura 6 - Valores de Precipitação pluviométrica e temperatura média do ar durante a condução do experimento no município de Itapororoca-PB.



FONTE: AESA e INMET (2020).

Antes da instalação dos experimentos foram coletadas amostras de solo (Tabela 2), na profundidade de 0,20m, para fins de caracterização química e granulométrica (EMBRAPA, 2018).

Tabela 2 - Atributos químicos e granulometria do solo das áreas experimentais, na camada de 0,00 a 0,20m, antes da instalação dos experimentos.

Atributos químicos	Itapororoca	Sapé	Santa Rita	Extratores
pH	4,8 Ae	4,7Ae	4,7 Ae	água 1:2,5
MO, g kg ⁻¹	18,3 Bx	21,0 M	10,3 Bx	Walkley-Black
P, mg dm ⁻³	25,6 B	1,5 Mb	1,0 Mb	Mehlich-1
K ⁺ , mg dm ⁻³	52,4 M	21,0 Bx	40,0 Bx	Mehlich-1
Ca ²⁺ , cmol _c dm ⁻³	1,3 M	1,5 M	0,5 Bx	KCl 1 mol L ⁻¹
Mg ²⁺ , cmol _c dm ⁻³	0,2 Bx	0,6 M	0,3 Bx	KCl 1 mol L ⁻¹
S, mg dm ⁻³	14,2 A	3,0 Mb	1,4 Mb	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ HOAc (1: 2,5)
H + Al, cmol _c dm ⁻³	5,7 A	8,5 A	3,8 M	Ca(OAc) 0,5 mol L ⁻¹ pH 7,0
Al ³⁺ , cmol _c dm ⁻³	0,5 M	0,8 M	0,5 Bx	KCl 1 mol L ⁻¹
SB, cmol _c dm ⁻³	1,9 M	2,1 M	1,0 Bx	-
t, cmol _c dm ⁻³	2,4 M	2,9 M	1,5 Bx	-
T, cmol _c dm ⁻³	7,5 M	10,6 B	4,8 M	-
V, %	24,7 Bx	20,8 Bx	20,6 Bx	-
m, %	22,7 Bx	27,1Bx	33,7 M	-
B, mg dm ⁻³	0,4 M	0,2 Bx	0,1 Bx	Água quente
Cu, mg dm ⁻³	0,1 Mb	0,6 Bx	0,3 Mb	Mehlich-1
Fe, mg dm ⁻³	37,5 B	43,1 B	3,0 Mb	Mehlich-1
Mn, mg dm ⁻³	25,1 A	6,0 M	4,6 Bx	Mehlich-1
Zn, mg dm ⁻³	0,8 Bx	3,4 A	3,0 A	Mehlich-1
Areia, g kg ⁻¹	763	734	881	-
Silte, g kg ⁻¹	74	27	30	-
Argila, g kg ⁻¹	163	239	89	-

Fonte: RODRIGUES, João (2020). Ae= acidez elevada; Bx= baixo; B= bom; M= médio; A= alto; Mb= muito baixo de acordo com Alvarez V. et al. (1999)

3. 2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

Adotou-se em cada experimento, o delineamento de blocos casualizados, com 30 tratamentos e três repetições, totalizando 90 unidades experimentais, os tratamentos foram obtidos pela combinação de duas matrizes experimentais: Plan Puebla III modificada ($2^k + 2k + 1 + 1$) para avaliação dos efeitos das doses de N, P, K e S; e Baconiana para avaliação dos efeitos de calagem e micronutrientes.

Foram avaliadas as seguintes doses de N (50; 300; 500; 700; 950 kg ha⁻¹), P (20; 120; 200; 280; 380 kg ha⁻¹) K (50; 300; 500; 700 e 950 kg ha⁻¹) e S (20; 120; 200; 280; 380 kg ha⁻¹) avaliaram-se ainda três níveis de necessidade de calagem (NC) (0,5; NC e 1,5), obtidas a partir da análise de solo e três doses de micronutrientes (DRMi) (0,5 DRMi; DRMi e 1,5 DRMi), estabelecidas a partir das recomendações de Oliveira et al. (2002) (Tabela 3).

A unidade experimental constou de três fileiras duplas, contendo 12 plantas em cada fileira simples, totalizando 72 plantas por unidade experimental, perfazendo a área de 17,28 m². Foi considerada como área útil a fileira dupla central, num total de 24 plantas.

Tabela 3 - Níveis e doses de N, P, K, S, calagem e micronutrientes dos tratamentos avaliados.

Tratamento	Nível						Dose (kg ha ⁻¹)					
	N	P	K	S	Cal ^{1/}	Micro ²	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Cal	Micro
1	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	NC	DRMi	300	120	300	120	NC	DR
2	-0,4	-0,4	-0,4	0,4	NC	DRMi	300	120	700	280	NC	DR
3	-0,4	-0,4	0,4	-0,4	NC	DRMi	300	120	300	120	NC	DR
4	-0,4	-0,4	0,4	0,4	NC	DRMi	300	120	700	280	NC	DR
5	-0,4	0,4	-0,4	-0,4	NC	DRMi	300	280	300	120	NC	DR
6	-0,4	0,4	-0,4	0,4	NC	DRMi	300	280	700	280	NC	DR
7	-0,4	0,4	0,4	-0,4	NC	DRMi	300	280	300	120	NC	DR
8	-0,4	0,4	0,4	0,4	NC	DRMi	300	280	700	280	NC	DR
9	0,4	-0,4	-0,4	-0,4	NC	DRMi	700	120	300	120	NC	DR
10	0,4	-0,4	-0,4	0,4	NC	DRMi	700	120	300	280	NC	DR
11	0,4	-0,4	0,4	-0,4	NC	DRMi	700	120	700	120	NC	DR
12	0,4	-0,4	0,4	0,4	NC	DRMi	700	120	700	280	NC	DR
13	0,4	0,4	-0,4	-0,4	NC	DRMi	700	280	300	120	NC	DR
14	0,4	0,4	-0,4	0,4	NC	DRMi	700	280	300	280	NC	DR
15	0,4	0,4	0,4	-0,4	NC	DRMi	700	280	700	120	NC	DR
16	0,4	0,4	0,4	0,4	NC	DRMi	700	280	700	280	NC	DR
17	-0,9	-0,4	-0,4	-0,4	NC	DRMi	50	120	300	120	NC	DR
18	0,9	0,4	0,4	0,4	NC	DRMi	950	280	700	280	NC	DR
19	-0,4	-0,9	-0,4	-0,4	NC	DRMi	300	20	300	120	NC	DR
20	0,4	0,9	0,4	0,4	NC	DRMi	700	380	700	280	NC	DR
21	-0,4	-0,4	-0,9	-0,4	NC	DRMi	350	120	50	120	NC	DR
22	0,4	0,4	0,9	0,4	NC	DRMi	700	280	950	280	NC	DR
23	-0,4	-0,4	-0,4	-0,9	NC	DRMi	350	120	300	20	NC	DR
24	0,4	0,4	0,4	0,9	NC	DRMi	700	280	700	380	NC	DR
25	0	0	0	0	NC	DRMi	500	200	500	200	NC	DR
26	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	NC	DRMi	50	20	50	20	NC	DR
27	0	0	0	0	0,5NC*	DRMi	500	200	500	200	0,5NC	DR

28	0	0	0	0	1,5NC	DRMi	500	200	500	200	1,5NC	DR
29	0	0	0	0	NC	0,5DRMi	500	200	500	200	NC	0,5DR
30	0	0	0	0	NC	1,5DRMi	500	200	500	200	NC	1,5DR

FONTE: RODRIGUES, João (2020). ^{1/} NC = necessidade de calagem revelada pela análise de solo; ^{2/} Recomendação de micronutrientes para o abacaxi na região conforme Oliveira et al. (1999) que consiste de 4 kg/ha de Cu; 4 kg/ha de zinco, 2 kg/ha de Fe, 4 kg/ha de Mn e 1,5 kg/ha de boro;* 0,5 e 1,5 referem-se respectivamente a metade da dose total e uma vez e meia a NC e a dose de micronutrientes empregada nos tratamentos de 1 a 26. Conforme a matriz mista Plan Puebla III modificada (tratamentos 1-26) com baconiana (tratamentos 27-30)

3. 3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

A necessidade de calagem (NC) foi obtida pelo método da neutralização do Al^{3+} e suprimento de Ca^{2+} e Mg^{2+} (ALVAREZ V. & RIBEIRO, 1999). As quantidades de calcário (QC) aplicadas foram as seguintes: Santa Rita (1,0; 2,0 e 3,0 t ha⁻¹ de calcário com PRNT = 65%), Sapé (0,76; 1,53 e 2,29 t ha⁻¹ de calcário com PRNT = 65%) e Itapororoca (0,4; 0,8 e 1,2 t ha⁻¹ de calcário com PRNT = 62%). O calcário foi aplicado em área total, 60 dias antes do plantio das mudas e incorporado na profundidade de 0,20 m.

O plantio foi realizado após as operações de preparo do solo, que constaram de duas gradagens cruzadas e abertura dos sulcos de plantio. Foram utilizadas mudas tipo filhote do cultivar 'Pérola', previamente selecionadas, e padronizadas quanto ao peso e tamanho (peso médio de 250 g e 64 cm de tamanho). Em Santa Rita e Sapé as mudas foram plantadas no sistema de fileiras simples, no espaçamento de 0,80 x 0,30 m, resultando numa população de 41.667 plantas ha⁻¹. Em Itapororoca adotou-se o sistema de fileiras duplas, com espaçamento de 0,90 x 0,35 x 0,35 m, resultando numa população de 45.714 plantas ha⁻¹.

As fontes de nutrientes utilizadas em Santa Rita e Sapé foram: N = ureia (45 % de N); P = superfosfato triplo (42 % de P₂O₅ e 2 % de S); K = cloreto de potássio (60 % de K₂O); S = sulfato de magnésio (14 % de S e 17 % de MgO); B = bórax (11 % de B); Cu = sulfato de cobre (25 % de Cu); Fe = sulfato de ferro (20 % de Fe); Zn = sulfato de zinco (22 % de Zn) e Mn = sulfato de manganês (27 % de Mn). Em Itapororoca as fontes foram as seguintes: N = ureia (45 % de N); P = MAP (52 % de P₂O₅ e 10 % de N); K e S = sulfato de potássio (50 % de K₂O e 17 % de S); micronutrientes = FTE-BR 12 (9 % de Zn; 1,8 % de B; 0,8 % de Cu; 3 % de Fe e 2 % de Mn) e complemento de B = ácido bórico (17 % de B).

Em Santa Rita e Sapé, as doses de P foram aplicadas aos 90 dias após o plantio (dap), enquanto que as doses de N, K e S foram parceladas equitativamente em três aplicações (90, 270 e 330 dap). Em Itapororoca, as doses de P foram divididas em duas aplicações (70 e 110 dap), enquanto que as doses de N, K e S foram parceladas de forma equitativa em quatro aplicações (70, 110, 200 e 290 dap).

As doses dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn, em Santa Rita e Sapé, foram aplicadas de forma equitativa aos 90 e 270 dap, enquanto que as doses de B foram aplicadas aos 330 dap. Por outro lado, em Itapororoca, as doses de todos os micronutrientes foram parceladas em duas aplicações (200 e 290 dap).

Em todos os municípios as adubações com nutrientes foram realizadas no solo, junto à base da planta.

Os tratos culturais referentes ao controle de plantas daninhas e ao controle preventivo de pragas (cochonilha e broca dos frutos) e doenças (fusariose) foram realizados conforme as recomendações para o sistema de produção local (OLIVEIRA et al., 2002).

O experimento foi conduzido em condições de sequeiro, com irrigação suplementar, por meio de aspersão semanal nos períodos de menor precipitação, a fim de manter o solo a 70% da capacidade de campo.

A indução floral foi feita aos 12 meses após o plantio (map), mediante aplicação de 50 mL planta⁻¹ de solução de carbureto de cálcio a 1%, no centro da roseta foliar (OLIVEIRA et al., 2002).

A colheita foi realizada aos 17 map, o que ocorreu no mês de agosto de 2004 nos experimentos de Santa Rita e Sapé e em maio de 2016 no experimento de Itapororoca, foram coletadas dez infrutescências da área útil de cada unidade experimental no estágio denominado “pintado”.

3. 4 VARIÁVEIS AVALIADAS

Foram realizadas amostragens foliares do abacaxizeiro ‘Pérola’ na época da indução floral (12 meses após o plantio), coletando-se cinco folhas ‘D’ inteiras com a parte não clorofilada, em cada unidade experimental.

Após coletadas, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel e encaminhadas para o Laboratório de Análise de Tecido Vegetal (LATV), do Departamento de Solos e Engenharia Rural (DSER), do Centro de Ciências Agrárias (CCA), da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, Areia-PB.

Em laboratório, as folhas foram submetidas a tríplice lavagem (água, água + detergente neutro a 0,05%, e água destilada) e secas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até peso constante. Em seguida, as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley (malha de 2 mm) e retiradas subamostras para a determinação dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, seguindo a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

Para a determinação de N, P, K, Ca, Mg a digestão das amostras foi realizada utilizando-se água oxigenada, ácido sulfúrico concentrado e mistura digestora (sulfato de sódio, sulfato de cobre e selênio); após digeridas, o N foi destilado pelo método Kjeldahl e, em seguida, titulado com ácido sulfúrico. O P foi determinado por espectrofotometria a 660 nm, enquanto o K foi dosado por fotometria de chama. Os teores de Ca e Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

A digestão das amostras para S e micronutrientes catiônicos (Cu, Fe, Mn e Zn) foi realizada utilizando-se a mistura de ácidos nítrico e perclórico na relação 3:1; após digeridas, o S foi dosado por espectrofotometria, a 440 nm, enquanto os teores Cu, Fe, Mn e Zn foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. Para a determinação dos teores de B, as amostras foram digeridas em forno tipo “mufla” e dosados pelo método da azometina-H (TEDESCO et al., 1995).

Para obtenção da produtividade foram coletadas dez infrutescências em cada unidade experimental. Ainda em campo, as infrutescências com coroa foram pesadas e, posteriormente, categorizadas nas classes comerciais propostas por Almeida et al. (2004): classe I (0,8-1,20 kg), classe II (1,21-1,50 kg), classe III (1,51-1,80 kg) e classe IV (> 1,80 kg). Em seguida, calculou-se o percentual e a produção

de infrutescências em cada classe, admitindo-se que são colhidos, em média, 30 mil frutos ha^{-1} (SILVA, 2006). O somatório das produções de infrutescências em cada classe resultou na produtividade total, sendo os resultados expressos em t ha^{-1} .

Para a avaliação dos atributos de qualidade as mesmas dez infrutescências de cada unidade experimental foram colhidas, em estágio de maturação comercial, caracterizado por apresentar até 25% de casca amarela (MARTINS et al., 2012). Após coletadas, as infrutescências foram devidamente acondicionadas e encaminhadas para o Laboratório de Biologia e Tecnologia Pós-Colheita (LBTPC) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus II, Areia-PB.

Em laboratório, e após sanitização, determinou-se a massa fresca das infrutescências (g) em balança semi-analítica. Os demais atributos nas seções medianas processadas de cinco infrutescências. Os sólidos solúveis (SS) foram determinados utilizando-se refratômetro tipo Abbe digital, marca ATAGO-N1[®] a 22 °C, com valores expressos em percentagem. A acidez titulável (AT-g de ácido cítrico 100 g^{-1} de polpa) foi determinada por titulometria com solução de NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e indicador fenolftaleína, utilizando-se 1 g da amostra em 50 ml de água destilada, a firmeza foi determinada na região mediana das infrutescências inteiras, nos pontos de coalescência entre os frutinhos, com uso de penetrômetro Magness Taylor Pressure Tester (IAL, 2005). A relação SS/AT foi estimada pela divisão dos valores de sólidos solúveis e acidez titulável (SS/AT).

3. 5 PADRÕES NUTRICIONAIS PARA PRODUTIVIDADE

3. 5. 1 Normas DRIS produtividade

Para o estabelecimento das normas DRIS-Produtividade, o banco de dados (270 amostras) foi dividido em duas subpopulações: população de alta produtividade (população de referência) e população de baixa produtividade. O critério adotado para separar as populações foi semelhante aquele utilizado por Urano et al. (2007), o qual define como ponto de corte a produtividade média do banco de dados, acrescida da metade do desvio padrão ($\bar{x} + 0,5 s$).

Inicialmente, com o auxílio de planilha eletrônica, foram calculadas as relações diretas e inversas log-transformadas entre os nutrientes estudados para ambas as populações, utilizando-se a metodologia proposta por Beverly (1987):

$\text{Log} (Y/X_n)$ para as relações diretas e $\text{Log} (X_n/Y)$ para as relações inversas

em que: Y/X_n é a razão entre dois nutrientes das amostras foliares, sendo Y o nutriente fixo, e X_n os demais nutrientes que serão relacionados com Y (N/P, N/K, N/Ca, [...], N/B).

Em seguida, foram calculadas a média (\bar{x}) e o desvio padrão (s) das relações log-transformadas dos nutrientes na população de referência.

Posteriormente, usando as relações log-transformadas, foram calculadas as funções DRIS pela fórmula proposta por Jones (1981), expressa pela relação (A/B) para amostra analisada e (a/b) para a população de alta produtividade ou de referência. Desta forma, foi calculada a função f (A/B) (Equação 1).

$$f (A/B) = (A/B - a/b) \times \frac{K}{s} \quad \text{Eq.1}$$

em que: A/B = relação na amostra; a/b = relação na população de referência; K = constante de sensibilidade com valor igual a 1; s = desvio padrão da relação (a/b) na população de alta produtividade ou de referência.

Para a obtenção dos índices DRIS de cada nutriente, foi utilizado o método proposto por Beaufils (1973), modificado por Alvarez & Leite (1999) (Equação 2).

$$I_N = \frac{\sum_{i=1}^n f(A/B_i) - \sum_{i=1}^m f(B_i/A)}{n+m} \quad \text{Eq.2}$$

em que: I_N = índice do nutriente avaliado; $\sum_{i=1}^n f(A/B_i)$ = somatório das funções em que o nutriente "A" se encontra no numerador; $\sum_{i=1}^m f(B_i/A)$ = somatório das funções em que o nutriente "A" se encontra no denominador; n= número de vezes que o nutriente aparece no numerador; m= número de vezes que o nutriente aparece no denominador.

Após serem calculados os índices DRIS, foi calculado o Índice do Balanço Nutricional (IBN), que consiste no somatório dos valores absolutos dos índices DRIS, obtidos para cada nutriente (Equação 3).

$$IBN = |\text{ÍndiceN}| + |\text{ÍndiceP}| + \dots + |\text{ÍndiceB}| \quad \text{Eq.3}$$

em que: IBN= índice do balanço nutricional; $|\text{ÍndiceN}|$ = valor do índice para o nutriente N em módulo; $|\text{ÍndiceP}|$ = valor do índice para o nutriente P em módulo; $|\text{ÍndiceB}|$ = valor índice para o nutriente B em módulo.

Em seguida, obteve-se o Índice do Balanço Nutricional médio (IBNm), calculado a partir da divisão do IBN pelo número de nutrientes envolvidos na análise.

3. 5. 2 Normas CND produtividade

Inicialmente, os teores foliares de cada nutriente foram colocados na mesma unidade (mg kg^{-1}); em seguida, foi aplicado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($p \geq 0,05$) para o banco de dados.

Com base nos teores de nutrientes do tecido foliar e nos valores de produtividade, foram estabelecidas as normas CND a partir das relações multinutrientes, conforme a metodologia proposta por Parent & Dafir (1992).

Inicialmente foi calculado o valor R (Equação 4).

$$(R: 1.000.000 - (vN + vP + vK + vS + vCa + vMg + vZn + vFe + vMn + vCu + vB)) \quad \text{Eq.4}$$

em que: R representa o conteúdo de massa seca da amostra e de outros nutrientes componentes da matéria seca que não são avaliados (valor de enchimento); vN, vP, vK, vS, vCa, vMg, vZn, vFe, vMn, vCu, vB são os teores foliares dos nutrientes avaliados (mg kg^{-1}).

Na sequência, para todas as amostras calculou-se a média geométrica dos teores dos nutrientes (Equação 5).

$$mGeo = (vN \times vP \times vK \times vS \times vCa \times vMg \times vZn \times vFe \times vMn \times vCu \times vB \times R)^{1/(D+1)} \quad \text{Eq.5}$$

em que: $v_N \times v_P \times v_K \times v_S \times v_{Ca} \times v_{Mg} \times v_{Zn} \times v_{Fe} \times v_{Mn} \times v_{Cu} \times v_B$ representa os teores foliares dos nutrientes em $mg\ kg^{-1}$; D representa o número de nutrientes envolvidos na diagnose.

Em seguida, as equações logarítmicas naturais (ln), ou razões log centradas dos nutrientes (*clr* ou *centered log ratio*), foram estabelecidas (Equação 6).

$$V_{\text{nutriente}} = V_N = \ln \frac{N}{m_{Geo}}; V_P = \ln \frac{P}{m_{Geo}}; V_K = \ln \frac{K}{m_{Geo}}; [\dots]; V_R = \ln \frac{R}{m_{Geo}} \quad \text{Eq.6}$$

em que: $V_{\text{nutriente}}$ representam as variáveis multinutrientes; ln consiste no logaritmo neperiano do quociente entre a concentração de cada nutriente ($mg\ kg^{-1}$) e a média geométrica das concentrações dos constituintes da massa da matéria seca (mGeo).

Em seguida, foi calculada a Distância de Mahalanobis (D^2), que representa o índice de desequilíbrio dos nutrientes (PARENT et al., 2009) (Equação 7).

$$D^2 = \sum_{i=1}^d (clr_i - \overline{clr}_i)^T COV^{-1} (clr_i - \overline{clr}_i) \quad \text{Eq.7}$$

em que: COV^{-1} é a matriz de covariância inversa dos valores de $V_{\text{nutriente}}$, para todos os nutrientes; T é a indicação de que a matriz deve ser transposta (PARENT, 2011); clr é o somatório das variáveis multinutrientes para todos os nutrientes analisados em cada amostra; \overline{clr}_i é a média do somatório de todas as variáveis multinutrientes para os nutrientes analisados.

Posteriormente, foi aplicado o teste de qui-quadrado (χ^2), com base na distância de Mahalanobis (D^2), sendo excluídas as amostras cujo valor foi inferior a 1% ($p \leq 0,01$).

Depois, os índices CND foram calculados (Equação 8).

$$I_N = \frac{(V_N - \overline{V}_N)}{S_N}; I_P = \frac{(V_P - \overline{V}_P)}{S_P}; I_K = \frac{(V_K - \overline{V}_K)}{S_K}; [\dots]; I_B = \frac{(V_B - \overline{V}_B)}{S_B} \quad \text{Eq.8}$$

em que: $I_N \dots I_B$ é o índice CND de cada nutriente analisado; $V_N \dots V_B$ são os valores das variáveis multinutrientes em análise; $\overline{V}_N \dots \overline{V}_B$ são os valores médios

das variáveis multinutrientes para cada elemento na população de referência; $s_N \dots s_B$ são os desvios-padrão das variáveis multinutrientes na população de referência.

Os índices de cada nutriente foram então utilizados para determinar o Índice Global de Equilíbrio (CND- r^2) (Equação 9).

$$\text{CND-}r^2 = I_N^2 + I_P^2 + I_K^2 + [\dots] + I_B^2 \quad \text{Eq.9}$$

Por fim, o CND- r^2 , que representa o índice de desequilíbrio nutricional global da amostra, foi correlacionado com a D^2 , a fim de comprovar que quanto mais equilibrada está a amostra, ou seja, próxima de zero, menor deverá ser a D^2 .

Para separar as subpopulações de baixa e alta produtividade, estabeleceu-se a função cúbica relacionando produtividade ($t \text{ ha}^{-1}$) do conjunto amostral e a variância acumulada (função cumulativa) dos valores da distância de Mahalanobis (D^2); o ponto de inflexão da curva, obtida pela derivada segunda ($-b/3a$), foi considerado o ponto de corte para separar as subpopulações de baixa e alta produtividade (KHIARI et al., 2001).

Em seguida, foram calculadas a média (\bar{x}) e o desvio padrão (s) das relações log-transformadas dos nutrientes na população de referência.

3. 5. 3 Níveis críticos e Faixas de suficiência

Para a obtenção dos níveis críticos (NC) e das faixas de suficiência (FS) partiu-se do pressuposto de que os índices que tendem a zero apresentam condição de equilíbrio nutricional da planta (PARENT & DAFIR, 1992).

Assim, os NC de macro e micronutrientes pelos métodos DRIS e CND foram estabelecidos igualando-se a zero a equação de regressão que relaciona teores foliares de cada nutriente e seus respectivos índices DRIS e CND, sendo escolhidos os modelos que apresentaram os maiores valores de coeficiente de determinação (R^2).

A partir dos NC foram estabelecidas as FS pelos métodos DRIS e CND, em que os limites inferior (LI) e superior (LS) das faixas foram obtidos subtraindo-se e adicionando-se, respectivamente, $2/3$ do valor do desvio-padrão do teor foliar de cada nutriente, ao valor NC determinado em cada método (SOUZA et al., 2020).

3. 5. 4 Validação das normas

A validação das normas obtidas pelos métodos DRIS e CND foi avaliada por dois métodos: 1) análise de regressão entre os valores de IBNm para o DRIS e os índices de desequilíbrio global (CND-r²) para o CND com os respectivos valores de produtividade; 2) método de partição de Cate-Nelson (NELSON & ANDERSON, 1977), que maximiza a soma de quadrados (SQ) entre as duas partições (positivas e negativas).

Para o método Cate-Nelson, a geração dos quadrantes foi obtida a partir da seguinte equação:

$$SQ = \left[\left(\frac{\sum_{i=1}^k X_i^2}{k} + \frac{\sum_{j=k+1}^n X_j^2}{(n-k)} \right) - \left[\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2}{n} \right] \right] \quad \text{Eq. 10}$$

em que: X é o índice de balanço nutricional DRIS ou o índice de desequilíbrio global (CND-r²); X_n é o conjunto de todos os índices do conjunto amostral, com n números de observações (todos os índices do banco de dados devem ser ordenados em ordem crescente); k é a contagem elementar que começa com o primeiro índice ordenado; j é o número subsequente da contagem elementar dos índices ordenados.

O maior valor da soma de quadrados (SQ) obtido entre todas as observações foi usado como ponto crítico, que serviu de base para distribuir os valores em cada quadrante, os quais representam classes de respostas à adubação.

O valor do índice de balanço nutricional (IBN) ou do índice de desequilíbrio global (CND-r²) relacionado com o maior valor de SQ (ponto crítico) foi utilizado para a separação dos quadrantes no eixo X. Para separar os quadrantes no eixo Y foi utilizado o valor da produtividade obtida pela média + 0,5 do desvio-padrão para o método DRIS; para o método CND o valor da produtividade obtida pelo ponto de inflexão da equação cúbica que dividiu as subpopulações de alta e baixa produtividade.

Nos talhões de alta produtividade, as amostras que apresentaram valor de IBN ou CND-r² menor que o valor de IBN ou CND-r² considerado como ponto crítico para os métodos DRIS e CND, respectivamente, ficaram no quadrante verdadeiro

negativo; por outro lado, as amostras que apresentaram valor de IBN ou $CND-r^2$ maior que o valor do IBN ou $CND-r^2$ considerado como ponto crítico para os métodos DRIS e CND, respectivamente, ficaram no quadrante falso positivo.

Nos talhões de baixa produtividade, as amostras que apresentaram valor de IBN ou $CND-r^2$ menor que o valor do IBN ou $CND-r^2$ considerado como ponto crítico para os métodos DRIS e CND, respectivamente, ficaram no quadrante falso negativo; por outro lado, as amostras que apresentaram valor de IBN ou $CND-r^2$ maior que o valor do IBN considerado como ponto crítico ficaram no quadrante verdadeiro positivo.

3. 5. 5 Comparação dos Diagnósticos

Para realizar a efetiva comparação dos diagnósticos feitos pelos métodos DRIS e CND utilizou-se o mesmo número de amostras e o mesmo ponto de corte para separar as populações de alta e baixa produtividade. Assim, o banco de dados foi constituído por 270 amostras e o ponto de corte de $42,6 \text{ t ha}^{-1}$ para separar as populações de alta e baixa produtividade; esse valor de produtividade foi obtido pelo ponto de inflexão da equação cúbica de acordo com a metodologia proposta por Khiari et al. (2001).

Para a interpretação dos índices DRIS e CND, utilizou-se a metodologia do Potencial de Resposta à Adubação (PRA), desenvolvida por Wadt (1999) e modificado por Silva (2001), adotando-se três classes de potencial de resposta: a) Limitante por Falta (LF); b) Limitante por Excesso (LE) e; c) Não Limitante (NL).

Verificou-se a hipótese de que a frequência com que cada nutriente ocorreu como o mais limitante por deficiência, ou seja, com potencial de resposta à adubação positiva (p) tenha sido atribuída ao acaso. Para isso, utilizou-se o teste de qui-quadrado (χ^2) a 5 % de probabilidade, com $n-1$ graus de liberdade (n = número de nutrientes analisados) para validar a diagnose realizada em cada metodologia. Como nutriente mais limitante por deficiência foi considerado o nutriente que apresentou o índice negativo de menor valor entre os nutrientes avaliados e o maior valor em módulo que o índice de balanço nutricional médio (IBN_m) (WADT, 1999).

Para a realização do teste do qui-quadrado (χ^2) foram calculadas as frequências esperadas (FE) e as frequências observadas (FO) (Equações 11 e 12).

$$FE(\%) = \left[\left(\frac{\text{n}^\circ \text{ total de talhões avaliados}}{\text{n}^\circ \text{ de nutrientes avaliados}} \right) / \text{n}^\circ \text{ total de talhões avaliados} \right] \times 100 \quad \text{Eq.11}$$

$$FO(\%) = \left(\frac{\text{n}^\circ \text{ de talhões em que o nutriente foi (p)}}{\text{n}^\circ \text{ total de talhões avaliados}} \right) \times 100 \quad \text{Eq.12}$$

As médias dos índices DRIS e CND para cada nutriente, obtidas para o banco de dados utilizado (265 amostras), foram comparadas utilizando-se o teste t de Student para amostras independentes.

3. 6 PADRÕES NUTRICIONAIS PARA QUALIDADE

No estabelecimento dos padrões nutricionais para qualidade pelos métodos DRIS e CND, o banco de dados foi composto inicialmente por 180 amostras, provenientes dos experimentos realizados nos municípios de Sapé e Itapororoca.

3. 6. 1 Normas DRIS qualidade

As normas DRIS qualidade foram estabelecidas utilizando os procedimentos e fórmulas descritas no item 3.5.1, diferindo apenas na escolha da variável utilizada para estabelecer as normas, pois para estabelecer as normas de qualidade foram utilizados os valores das variáveis de peso do fruto, relação SS/AT e firmeza do fruto.

3. 6. 2 Normas CND qualidade

Devido à dificuldade em definir a variável de maior importância em termos de qualidade, devido a mesma contemplar diversas características físico-químicas das infrutescências, utilizou-se a análise de componentes principais para selecionar as variáveis mais importantes dentre as relacionadas com a qualidade das infrutescências analisadas. Assim, com base na análise de correlação entre as

variáveis analisadas com os scores dos componentes principais retidos na análise foram selecionadas as variáveis relação SS/AT ou *ratio* e o peso do fruto.

A variável *ratio* é reportada na literatura como uma das mais importantes no que diz respeito a qualidade da infrutescência (VÁSQUEZ-JIMÉNEZ & BARTHOLOMEW, 2018; PAULL & CHEN, 2018). Já o peso do fruto é uma variável importante tanto para o produtor quanto para o consumidor local, principalmente para o consumo *in natura*, tendo em vista que frutos mais pesados apresentam maior valor comercial.

Com base nessas informações foi criada a variável Índice de Qualidade (IQ), resultante da combinação dos valores de massa e relação SS/AT das infrutescências, nesse sentido, foi atribuído pesos a cada componente da variável IQ, deste modo para o peso do fruto e para a relação SS/AT foi atribuído um peso de 50% cada (Equação 13).

$$IQ: (MI \times 0,5) + (SS/AT \times 0,5) \quad \text{Eq.13}$$

em que: IQ - Índice de Qualidade; MI - massa da infrutescência, em g; SS/AT relação entre sólidos solúveis e acidez titulável.

As normas CND para fins de qualidade foram estabelecidas de forma semelhante às normas CND-produtividade, diferindo apenas na escolha da variável utilizada para separar as populações, que neste caso foi o índice de qualidade.

Para a geração das normas CND-Qualidade os teores foliares de cada nutriente foram colocados na mesma unidade (mg kg^{-1}) e, em seguida, foi aplicado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($p \geq 0,05$).

As normas CND-Qualidade foram estabelecidas seguindo as relações multinutrientes, propostas por Parent e Dafir (1992), e determinadas conforme a Equação 4. Na sequência, calculou-se a média geométrica dos teores dos nutrientes de todas as amostras (Equação 5). Em seguida, as equações logarítmicas naturais (\ln), ou razões log-centradas dos nutrientes (*clr* ou *centered log ratio*), foram estabelecidas (Equação 6). Logo após, calculou-se a Distância de Mahalanobis (D^2) (Equação 7). Posteriormente, foi aplicado o teste de χ^2 com base na distância de Mahalanobis (D^2), sendo excluídas as amostras cujo valor foi inferior a 1% ($p < 0,01$).

Depois, os índices CND-Qualidade foram calculados (Equação 8) e utilizados para determinar o Índice Geral de Equilíbrio para Qualidade ($CND-r^2Q$) (Equação 9).

Para separar as populações de baixa e alta qualidade, estabeleceu-se uma função cúbica relacionando os valores de IQ do conjunto amostral e a variância acumulada (função cumulativa) dos valores da distância de Mahalanobis (D^2); o ponto de inflexão da curva, obtido pela derivada segunda ($-b/3a$), foi considerado o ponto de corte para separar as subpopulações de baixa e alta qualidade (KHIARI et al., 2001).

Em seguida foram calculadas a média (\bar{x}) e o desvio-padrão (σ) das relações log-transformadas dos nutrientes na população de referência.

3. 6. 3 Níveis críticos e faixas de suficiência

Os níveis críticos para Qualidade (NCQ) de nutrientes pelo método DRIS-Qualidade foram estabelecidos igualando-se a zero a equação de regressão que relaciona teores foliares de cada nutriente e seus respectivos índices DRIS-Qualidade, sendo escolhidos os modelos que apresentaram os maiores valores de R^2 .

As faixas de suficiência pelo método DRIS-Qualidade foram estabelecidas a partir dos NCQ. Assim, o limite inferior (LI) e superior (LS) das faixas foram obtidos, respectivamente, subtraindo-se e adicionando-se ao valor de NCQ determinado em cada método, $2/3$ do valor do desvio padrão do teor foliar de cada nutriente (SOUZA et al., 2020).

Os níveis críticos para Qualidade (NCQ) de nutrientes pelo método CND-Qualidade foram estabelecidos igualando-se a zero a equação de regressão que relaciona teores foliares de cada nutriente e seus respectivos índices CND-Qualidade, sendo escolhidos os modelos que apresentaram os maiores valores de R^2 .

As faixas de suficiência pelos métodos CND-Qualidade foram estabelecidas a partir dos NCQ. Assim, o limite inferior (LI) e superior (LS) das faixas foram obtidos, respectivamente, subtraindo-se e adicionando-se ao valor de NCQ determinado em

cada método, $\frac{2}{3}$ do valor do desvio padrão do teor foliar de cada nutriente (SOUZA et al., 2020).

3. 6. 4 Validação das normas

Após estabelecidas as normas DRIS qualidade, utilizou-se o procedimento da partição de Cate-Nelson (NELSON E ANDERSON, 1977) para validar as normas geradas neste trabalho, conforme descrito no item 3.5.4. A validação foi realizada por meio dos índices de balanço nutricional obtidos pelo DRIS e os respectivos valores de peso do fruto, relação SS/AT e firmeza.

O maior valor da soma de quadrados (SQ) obtido entre todas as observações foi usado como ponto crítico, que serviu de base para distribuir os valores em cada quadrante, os quais representam classes de respostas à adubação. O valor do índice de balanço nutricional (IBN) relacionado com o maior valor de SQ (ponto crítico) foi utilizado para a separação dos quadrantes no eixo X, enquanto que os valores de peso do fruto, relação SS/AT e firmeza, obtidos pela média + 0,5 do desvio padrão, foram usados para separar os quadrantes no eixo Y em cada partição realizada.

A validação das normas obtidas pelo método CND-Qualidade foi avaliada por dois diferentes métodos: 1) análise de regressão entre os Índices de Desequilíbrio Global para Qualidade (CND- r^2Q) para o CND-Qualidade com os respectivos valores dos atributos de qualidade; 2) método de partição de Cate-Nelson (NELSON & ANDERSON, 1977), conforme descrito no item 3.5.4.

O maior valor da soma de quadrados (SQ) obtido entre todas as observações foi usado como ponto crítico, que serviu de base para distribuir os valores em cada quadrante, os quais representam classes de respostas à adubação.

O valor do índice de desequilíbrio global para qualidade (CND- r^2Q) relacionado com o maior valor de SQ (ponto crítico) foi utilizado para a separação dos quadrantes no eixo X. Para separar os quadrantes no eixo Y foi utilizado o valor de IQ obtido pelo ponto de inflexão da equação cúbica que dividiu as subpopulações para o método CND-Qualidade.

Nos talhões de alta qualidade, as amostras que apresentaram valor de $CND-r^2Q$ menor que o valor de $CND-r^2Q$, considerado como ponto crítico para o método CND-Qualidade, ficaram no quadrante verdadeiro negativo; por outro lado, as amostras que apresentaram valor de $CND-r^2Q$ maior que o valor do $CND-r^2Q$, considerado como ponto crítico para o método CND-Qualidade, ficaram no quadrante falso positivo.

Nos talhões de baixa qualidade, as amostras que apresentaram valor de $CND-r^2Q$ menor que o valor do $CND-r^2Q$, considerado como ponto crítico para o método CND-Qualidade, ficaram no quadrante falso negativo; por outro lado, as amostras que apresentaram valor de $CND-r^2Q$ maior que o valor do considerado como ponto crítico para o método CND-Qualidade, respectivamente, ficaram no quadrante verdadeiro positivo.

Após a determinação dos quadrantes foi realizada a interpretação do teste diagnóstico, mediante a determinação dos seguintes parâmetros: Valor Preditivo Negativo (VPN), Valor Preditivo Positivo (VPP), Acurácia, Especificidade e Sensibilidade (PARENT et al., 2013).

3. 7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foram realizadas análises descritivas, teste de normalidade, análise de variância, teste de médias, regressão e análise de componentes principais. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se planilhas eletrônicas Excel, o *software* IBM SPSS Statistics versão 25 e o RStudio versão 3.5 (R Core Team, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DRIS - PRODUTIVIDADE

4.1.1 Estabelecimento das Normas

Os teores foliares de macro e micronutrientes inicialmente não apresentaram distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p \geq 0,05$). Contudo, o uso da transformação logarítmica das relações duais entre os teores foliares corrigiu a distribuição não normal dos dados (BEVERLY, 1987), esse tipo de transformação também foi utilizado por Dias et al. (2010) no estabelecimento de normas DRIS para o cupuaçuzeiro nas condições edafoclimáticas de Porto Velho-RO; no referido trabalho, o uso de normas DRIS log-transformadas melhorou a capacidade preditiva do método, reduzindo a assimetria entre as relações dos nutrientes.

Das 270 amostras integrantes do banco de dados 106 delas foram consideradas de alta produtividade ($> 42,5 \text{ t ha}^{-1}$), constituindo assim a população de referência (média + 0,5 desvio padrão); tais amostras correspondem a 39,2 %, do banco de dados e exibiram produtividade variando de 42,5 a 48,3 t ha^{-1} . As 164 amostras restantes, ou seja, 60,8 % do banco de dados, foram consideradas de baixa produtividade ($< 42,5 \text{ t ha}^{-1}$), exibindo produtividades entre 25,6 e 42,4 t ha^{-1} (Tabela 4).

A produtividade média das subpopulações de alta (44,4 t ha^{-1}) e baixa produtividade (37,5 t ha^{-1}) foram 46,05 e 23,35 % respectivamente, superiores à produtividade obtida no estado da Paraíba, que é de 30,4 t ha^{-1} (IBGE, 2019). Isso demonstra a importância do manejo adequado da adubação e do estado nutricional das plantas para obtenção de maiores produtividades na cultura do abacaxi (SILVA et al., 2009).

Os teores foliares de nutrientes das populações de alta e baixa produtividade não diferiram entre si ($p > 0,05$) (Tabela 4), isso indica que a variação da produtividade esteve provavelmente relacionada à fatores de ordem não nutricional como por exemplo fatores climáticos (temperatura, precipitação, umidade etc) e, ou,

que os teores dos nutrientes isoladamente não contribuíram para explicar a variação da produtividade (SANTOS E ROZANE, 2017).

Com relação aos coeficientes de variação (CV%) observou-se, para ambas as subpopulações, que os macronutrientes apresentaram a seguinte ordem decrescente nos valores de CV: Ca (34,2; 34,7) > P (29,6; 32,6) > S (28,1; 28,6) > Mg (25,9; 26,9) > K (22,6; 20,8) > N (19,1; 20,7) (Tabela 4).

Os elevados valores de CV registrados neste trabalho estão possivelmente relacionados à variação nas características químicas dos solos em que foram realizados os experimentos (Tabela 2) associada à variação nas doses dos nutrientes aplicadas (Tabela 3). A alta variabilidade do banco de dados é uma das premissas do método DRIS estabelecido a partir de ensaios de calibração, pois simula a variação na fertilidade do solo encontrada nas lavouras comerciais (URANO et al., 2007).

Tabela 4 - Estatísticas descritivas de 270 amostras para as variáveis produtividade, teores foliares de macro e micronutrientes do abacaxizeiro 'Pérola' na região dos Tabuleiros Costeiros Paraibanos.

	População de alta produtividade					População de baixa produtividade					
	Média	Mínimo	Máximo	s	CV	Média	Mínimo	Máximo	s	CV	
	-----t ha ⁻¹ -----					-----t ha ⁻¹ -----					
Prod.	44,4	42,5	48,3	1,5	3,5	37,5	25,6	42,4	3,8	10,2	**
						g kg ⁻¹					
N	13,2	8,0	21,2	2,5	19,1	13,1	8,0	21,9	2,7	20,7	ns
P	1,5	0,8	2,7	0,4	29,6	1,5	0,8	2,6	0,5	32,6	ns
K	33,6	17,4	49,3	7,6	22,6	35,1	17,4	48,8	7,3	20,8	ns
S	1,1	0,6	1,8	0,3	28,1	1,1	0,6	1,9	0,3	28,6	ns
Ca	3,1	1,1	6,5	1,1	34,2	2,9	1,1	5,6	1,0	34,7	ns
Mg	2,0	1,2	3,6	0,5	25,9	1,9	1,2	3,6	0,5	26,9	ns
						mg kg ⁻¹					
Cu	2,9	0,1	6,5	1,8	61,2	2,9	0,1	12,9	1,8	63,9	ns
Fe	48,2	8,0	396,6	39,6	82,2	46,1	8,0	407,9	35,2	76,2	ns
Zn	13,6	3,4	34,5	7,5	55,2	11,9	3,4	31,9	6,6	55,4	ns
Mn	128,3	53,3	258,4	45,1	35,1	128,7	53,3	251,3	39,3	30,6	ns
B	29,3	15,3	57,5	8,9	30,5	29,7	15,3	54,7	7,8	26,1	ns

FONTE: RODRIGUES, João (2020).

Prod.: produtividade; s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; ** e ns significativo a 1% e não significativo, respectivamente, pelo teste t de Student para amostras independentes.

Os valores de CV encontrados neste trabalho, em ambas as subpopulações, para N, P, K e Mg foram inferiores aos valores de 35,5; 46,3; 51,2 e 27,6%, respectivamente, reportados por Agbangba et al. (2011) no estabelecimento de normas DRIS preliminares para o abacaxizeiro 'Pérola' em Benin, região Oeste da

África. Foram inferiores também aos valores de 21,2; 32,6; 46,6 e 43,4% reportados por Teixeira et al. (2009) no estabelecimento de normas DRIS para o abacaxizeiro 'Smooth Cayenne' em solos de São Paulo, fato que atribuíram à variação das doses dos fertilizantes aplicadas.

No presente trabalho, o maior valor de CV para o Ca (34,2 e 34,7%), em ambas as subpopulações, pode ser atribuído ao efeito da calagem. As doses de calcário aplicadas nos experimentos (0,4 à 3 t ha⁻¹) possivelmente influenciaram a disponibilidade de Ca no solo e, por consequência, os teores foliares do nutriente. Comportamento semelhante foi reportado por Teixeira et al. (2009) ao relatarem valores de CV de 32,6% para os teores foliares de Ca no abacaxizeiro 'Smooth Cayenne', cujas amostras foram coletadas num experimento de adubação que recebeu calagem.

Lopez-Montoya et al. (2018), usando o método DRIS para avaliar o estado nutricional do abacaxizeiro 'MD-2' na Colômbia, também observaram que o Ca foi o nutriente que apresentou o maior valor de CV (11,0%) na população de referência, embora em menor magnitude em relação aos valores encontrados neste trabalho. O fato de o trabalho ter avaliado apenas doses de N, P e K, sem calagem e num único local, possivelmente restringiu a influência e as variações dos fatores nutricionais e edafoclimáticos, e reduziu os valores de CV.

Com relação aos micronutrientes foram observados, em ambas as populações, valores de CV maiores do que os macronutrientes, os quais obedeceram a seguinte ordem decrescente: Fe (82,2; 76,2) > Cu (61,2; 63,9) > Zn (55,2; 55,4) > Mn (35,1; 30,6) > B (30,5; 26,1) (Tabela 4).

Os maiores valores de CV observados para o Fe e Cu em ambas subpopulações, podem estar relacionados a elevação do pH do solo promovido pela calagem, a qual teria diminuído a solubilidade e disponibilidade desses nutrientes e, conseqüentemente, aumentado a variação das quantidades absorvidas (ABREU, 2007).

Outros fatores que podem ter contribuído para os elevados valores de CV para esses nutrientes são as diferenças nos teores iniciais encontrados nos solos das áreas experimentais (Tabela 2), e a variação nas doses aplicadas (Tabela 3). Conforme Abreu et al. 2007 condições oxirredutoras do solo, matéria orgânica e

umidade do solo são fatores estes que alteram o estado de oxidação do Fe e, conseqüentemente, a absorção pela planta; por outro lado, os teores de matéria orgânica do solo influenciam de forma marcante na disponibilidade de Cu, devido a formação preferencial de complexos organometálicos com este metal.

Lopez-Montoya et al. (2018), usando o método DRIS para avaliar o estado nutricional do abacaxizeiro 'MD-2' na Colômbia, observaram que o Cu foi o micronutriente que apresentou o maior valor de CV (43 %), ficando, porém, abaixo dos valores encontrados neste trabalho. Vale ressaltar que, ao contrário desse trabalho os autores não avaliaram doses de micronutrientes e realizaram a pesquisa em apenas um tipo de solo e com menor número de amostras (72), o que pode explicar as diferenças encontradas.

As normas DRIS-Produtividade, estabelecidas a partir das 110 relações bivariadas log-transformadas diretas e inversas, encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Média (\bar{x}) e desvio-padrão (s) das relações log-transformadas dos nutrientes, obtidas da subpopulação de alta produtividade em amostras foliares de abacaxizeiro 'Pérola'.

N /	P	K	S	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn	B
\bar{x}	1,0	-0,4	1,1	0,7	0,8	0,8	-0,5	0,1	-1,0	-0,3
s	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,5	0,2	0,3	0,2	0,2
P /	N	K	S	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn	B
\bar{x}	-1,0	-1,4	0,1	-0,3	-0,1	-0,2	-1,5	-0,9	-1,9	-1,3
s	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2
K /	N	P	S	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn	B
\bar{x}	0,4	1,4	1,5	1,0	1,2	1,2	-0,1	0,4	-0,6	0,1
s	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,5	0,2	0,3	0,1	0,2
S /	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn	B
\bar{x}	-1,1	-0,1	-1,5	-0,5	-0,3	-0,3	-1,6	-1,1	-2,1	-1,4
s	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,5	0,3	0,3	0,1	0,2
Ca /	N	P	K	S	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn	B
\bar{x}	-0,7	0,3	-1,0	0,5	0,2	0,2	-1,2	-0,6	-1,6	-1,0
s	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2
Mg /	N	P	K	S	Ca	Cu	Fe	Zn	Mn	B
\bar{x}	-0,8	0,1	-1,2	0,3	-0,2	0,0	-1,3	-0,8	-1,8	-1,2
s	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2
Cu /	N	P	K	S	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	B
\bar{x}	-0,8	0,2	-1,2	0,3	-0,2	0,0	-1,3	-0,8	-1,8	-1,1
s	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,6	0,5
Fe /	N	P	K	S	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	B
\bar{x}	0,5	1,5	0,1	1,6	1,2	1,3	1,3	0,6	-0,5	0,2
s	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,2
Zn /	N	P	K	S	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	B
\bar{x}	-0,1	0,9	-0,4	1,1	0,6	0,8	0,8	-0,6	-1,0	-0,4
s	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3
Mn /	N	P	K	S	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	B
\bar{x}	1,0	1,9	0,6	2,1	1,6	1,8	1,8	0,5	1,0	0,6
s	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,6	0,3	0,4	0,2
B /	N	P	K	S	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn
\bar{x}	0,3	1,3	-0,1	1,4	1,0	1,2	1,1	-0,2	0,4	-0,6
s	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,2	0,3	0,2

FONTE: RODRIGUES, João (2020).

Tais valores gerados neste trabalho representam o primeiro registro do balanço nutricional completo do abacaxizeiro 'Pérola' na literatura preenchendo uma importante lacuna do conhecimento científico na área de nutrição de frutíferas tropicais.

Analisando os trabalhos existentes, observa-se que Angeles et al. (1990) estabeleceram normas preliminares, a partir da compilação de dados de vários países e cultivares, apenas para os macronutrientes primários. Teixeira et al. (2009), utilizando o abacaxizeiro 'Smooth Cayenne' estabeleceram normas apenas para os nutrientes N, P, K, Ca e Mg. Já Agbangba et al. (2011) trabalhando com o abacaxizeiro 'Pérola' em lavouras comerciais de Benin (Oeste da África) estabeleceram normas apenas para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg e Zn.

Assim considerando-se que nenhuma dessas pesquisas contemplou o balanço nutricional completo do abacaxizeiro, e que foram realizadas em condições de clima, solo, cultivar e manejo distintas daquelas prevalentes no estado da Paraíba, pode-se afirmar que as relações estabelecidas neste trabalho são as mais adequadas para avaliar o balanço nutricional do abacaxizeiro 'Pérola' nas condições locais; contudo, torna-se necessário a sua validação bem como a definição de níveis críticos e faixas de suficiência (SILVA et al., 2005; ROZANE et al., 2016).

No que se refere ao relacionamento entre produtividade e os índices DRIS de cada nutriente, observaram-se valores de coeficiente de determinação (R^2) muito baixos (0,01 – 0,08) para todos os nutrientes avaliados indicando, assim, que isoladamente os nutrientes explicam um percentual muito pequeno na variação da produtividade (Tabela 6).

Nowaki (2017) utilizando dados provenientes de ensaios de adubação e de lavouras comerciais também constataram valores de R^2 muito baixos (0,01 – 0,19) entre produtividade e índices DRIS na cultura do tomateiro.

Tabela 6 - Modelos estatísticos das relações entre produtividade e índices DRIS para os nutrientes avaliados no abacaxizeiro ‘Pérola’.

Índices DRIS	Equação	R ²
N	$\hat{y} = \bar{Y} = -0,04$	-
P	$\hat{y} = 40,24 - 0,876^*x$	0,02
K	$\hat{y} = 40,45 - 2,77^{**}x$	0,07
S	$\hat{y} = 40,30 - 1,773^{**}x$	0,05
Ca	$\hat{y} = \bar{Y} = -0,03$	-
Mg	$\hat{y} = \bar{Y} = -0,05$	-
Cu	$\hat{y} = 40,22 + 0,666^*x$	0,01
Fe	$\hat{y} = \bar{Y} = -0,10$	-
Zn	$\hat{y} = 40,42 + 1,523^{**}x$	0,08
Mn	$\hat{y} = 40,28 - 0,989^*x$	0,02
B	$\hat{y} = \bar{Y} = -0,07$	-

FONTE: RODRIGUES, João (2020); ** e *: significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste F.

Os baixos valores de R² para o relacionamento entre produtividade e índices DRIS se devem, possivelmente, às interações ocorridas entre os nutrientes no tecido vegetal e indicam que para os nutrientes estudados os maiores teores foliares não estiveram necessariamente associados às maiores produtividades.

Além disso, o valor do índice DRIS de cada nutriente resulta do somatório de todas as relações diretas e inversas entre os nutrientes envolvidos na diagnose, o que se assemelha a uma abordagem multivariada (PRADO, 2008). Assim, quanto maior o número de nutrientes envolvidos no modelo que relaciona produtividade e índices DRIS mais difícil fica para se obter elevados valores de R², tendo em vista o maior número de interações envolvidas.

As normas DRIS-Produtividade, geradas sem transformação logarítmica, foram comparadas com as normas DRIS encontradas na literatura (Tabela 7); para isso foram escolhidas 26 das 110 relações estabelecidas inicialmente.

Quando as normas DRIS obtidas neste trabalho foram comparadas com as normas propostas por Agbangba et al. (2011) para o abacaxizeiro ‘Pérola’ em Benin (Oeste da África), verificaram-se diferenças nas relações N/P, N/K, P/Ca, K/N, K/P, Mg/P, Zn/P e Zn/Mg, com maiores magnitudes entre as relações N/P, K/P e envolvendo Zn (Tabela 7). Tais diferenças podem estar relacionadas a diferentes fatores, incluindo número de amostras utilizadas (270 vs 60), número de nutrientes avaliados (11 vs 6); e principalmente a parte da folha amostrada, pois no trabalho de Agbangba et al. (2011) foi utilizado o terço inferior da folha ‘D’, enquanto que neste trabalho foi utilizada a folha ‘D’ inteira.

Tabela 7- Normas DRIS para o abacaxizeiro ‘Pérola’ estabelecidas nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba, comparadas com as normas disponíveis na literatura.

Relações	Trabalho atual		Agbangba et al. (2011)		Teixeira et al. (2009)		Angeles et al. (1990)	
	\bar{x}	CV (%)	\bar{x}	CV (%)	\bar{x}	CV (%)	\bar{x}	CV (%)
N/P	9,8	37,9	2,7	51,9	12,5	21,0	5,55	31,0
N/K	0,4	27,9	0,6	44,5	0,6	30,0	0,43	26,0
N/S	13,6	32,4	-	-	-	-	-	-
N/B	0,5	42,3	-	-	-	-	-	-
P/Ca	0,5	33,1	0,3	49,3	0,24	27,0	-	-
K/N	2,6	232,6	1,9	44,3	1,70	30,0	2,3	26,0
K/P	25,2	220,4	5,0	56,7	25,0	18,0	13,9	40,0
K/S	33,2	68,0	-	-	-	-	-	-
K/B	1,2	39,5	-	-	-	-	-	-
S/N	0,0	33,7	-	-	-	-	-	-
S/P	0,8	35,9	-	-	-	-	-	-
S/K	0,0	42,2	-	-	-	-	-	-
S/Mg	0,5	38,6	-	-	-	-	-	-
Mg/P	1,4	24,6	1,7	59,4	2,9	22,0	-	-
Cu/N	0,2	21,1	-	-	-	-	-	-
Cu/P	2,1	225,7	-	-	-	-	-	-
Cu/Mg	1,6	233,4	-	-	-	-	-	-
Zn/P	9,5	76,5	0,0	72,3	-	-	-	-
Zn/Mg	7,2	52,8	0,0	44,0	-	-	-	-
Mn/P	93,5	40,3	-	-	-	-	-	-
Mn/S	120,6	28,0	-	-	-	-	-	-
Mn/B	4,6	40,8	-	-	-	-	-	-
B/N	2,2	20,5	-	-	-	-	-	-
B/P	20,9	45,1	-	-	-	-	-	-
B/Ca	10,5	37,1	-	-	-	-	-	-
B/Mg	15,5	235,5	-	-	-	-	-	-

\bar{x} : média; CV: coeficiente de variação; o critério de escolha das relações foi o mesmo que o utilizado por Agbangba et al. (2011) que consistiu em selecionar as relações da população de alta produtividade com valor de assimetria < 1 e também apresentassem valor da relação da variância (variância da população de baixa / variância da população de alta) > 1.

As normas estabelecidas neste trabalho, com exceção das relações P/Ca K/N e K/P foram menores em relação àquelas propostas por Teixeira et al. (2009) para o abacaxizeiro ‘Smooth Cayenne’ no estado de São Paulo, tais diferenças podem ser justificadas pelos maiores teores médios de N, P, K e Ca da população de referência do presente trabalho. Assim, embora Teixeira et al. (2009) tenha estabelecido normas para cinco nutrientes apenas (N, P, K, Ca e Mg), gerando número reduzido de relações (10) os resultados demonstram a importância da geração de normas específicas, inclusive para cultivares, em relação as normas gerais para fins de diagnóstico (SERRA et al., 2010). Já as relações N/P e K/P estabelecidas neste trabalho foram muito superiores às reportadas por Angeles para esses nutrientes,

isso pode estar relacionado ao fato que nesse trabalho foram utilizadas doses muito elevadas de N e K o que pode ter contribuído para as maiores relações N/P e K/P.

4. 1. 2 Nível crítico e Faixas de Suficiência

Com relação aos modelos gerados entre os índices DRIS e os teores foliares de cada nutriente (Tabela 8), observou-se significância dos estimadores dos parâmetros da equação ($p \leq 0,01$), além de valores de coeficiente de determinação (R^2) elevados ($\geq 0,73$), indicando, assim, a existência de correlação entre essas variáveis. Na Tabela 8 encontram-se, ainda, os níveis críticos foliares e as faixas de suficiência, obtidos para cada nutriente, utilizando o método DRIS.

Tabela 8 - Modelos estatísticos dos índices DRIS de cada nutriente em função dos respectivos teores foliares, nível crítico (NC), limite inferior (LI) e limite superior (LS) da faixa de suficiência dos macronutrientes e micronutrientes para o abacaxizeiro 'Pérola' obtidos pela metodologia DRIS.

Nutriente	Equação	R ²	NC	LI	LS
				g kg ⁻¹	
N	IN = -2,6588 + 0,2024 **x	0,75	13,1	11,3	14,9
P	IP = -2,0513 + 1,3905**x	0,82	1,5	1,2	1,8
K	IK = -3,3341 + 0,1335**x - 0,0009**x ²	0,73	31,7	26,7	36,7
S	IS = -1,9547 + 1,8579**x	0,81	1,1	0,9	1,3
Ca	ICa = -1,9252 + 0,6205**x	0,86	3,1	2,4	3,8
Mg	IMg = - 1,6811 + 0,8649**x	0,74	2,0	1,6	2,3
				mg kg ⁻¹	
Cu	ICu = - 5,9081 + 1,5898**ln(x)	0,98	2,2	0,8	3,2
Fe	IFe = - 5,8353 + 1,5646**ln(x)	0,96	41,7	16,5	65,7
Zn	IZn = - 3,4957 + 1,4267**ln(x)	0,95	11,4	6,9	16,3
Mn	IMn = - 3,3535 + 0,0375**x - 0,00008**x ²	0,86	160,3	92,6	148,0
B	IB = - 3,0121 + 0,1384**x - 0,0011**x ²	0,79	28,0	22,5	33,5

FONTE: RODRIGUES, João (2020); **: significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Dentre os modelos ajustados para macronutrientes o Ca foi o nutriente que apresentou o maior coeficiente de determinação ($R^2 = 0,86$), enquanto que para os micronutrientes, o Cu foi o que apresentou melhor ajuste ($R^2 = 0,98$) (Tabela 8).

Os elevados valores de R^2 obtidos para os nutrientes encontrados neste trabalho podem estar relacionados ao uso da transformação logarítmica nas relações duais, corrigindo os desvios de simetria entre as relações diretas e inversas dos nutrientes (BEVERLY, 1987). Além disso, o uso da transformação logarítmica reduz os valores do desvio-padrão das relações duais na população de referência, que são usados na geração dos índices DRIS para cada nutriente, o que possivelmente ajuda a melhorar o ajuste dos modelos estabelecidos entre os teores foliares e os índices DRIS.

Os níveis críticos (NC) e as faixas de suficiências (FS) de macro e micronutrientes gerados neste trabalho e aqueles considerados adequados para o abacaxizeiro na literatura estão apresentados nas Tabelas 9 e 10 respectivamente.

Os níveis críticos (NC) para os macronutrientes estimados neste trabalho foram maiores do que os encontrados na literatura exceto os de N, P, S e Mg reportados por Malavolta et al. (1997); os de N e Mg por Bataglia e Santos (2001); os de Ca e Mg por Teixeira et al. (2009); e o de Mg por Sema et al. (2010). Os NC de micronutrientes gerados neste trabalho foram menores do que àqueles encontrados na literatura, com exceção dos teores de Zn reportados por Malavolta et al. (1997); e os de Mn propostas por Malavolta et al. (1997); Bataglia e Santos (2001) e Sema et al. (2010).

Tabela 9 - Níveis críticos foliares (NC) e faixas de suficiência (FS) para macronutrientes obtidos pelo método DRIS para o abacaxizeiro, comparado aos resultados da literatura.

Autor	Valor	----- g kg ⁻¹ -----					
		N	P	K	S	Ca	Mg
Atual estudo	NC	13,1	1,5	31,7	1,1	3,1	2,0
	FS	11,3-14,9	1,2-1,8	26,7-36,7	0,9-1,3	2,4-3,8	1,6-2,3
Angeles et al. (1990)	NC	14,3	1,4	27,7	-	-	-
	FS	-	-	-	-	-	-
Malavolta et al. (1997)	NC	20,0	2,1	25,0	2,0	3,0	4,0
	FS	20-22	2,1-2,3	25-27	2-3	3,0-4,0	4,0-5,0
Bataglia & Santos (2001)	NC	15,0	0,8	25,0	-	3,0	4,0
	FS	15-17	0,8-1,2	25-27	-	3,0-4,0	4,0-5,0
Teixeira et al. (2009)	NC	12,0	0,9	21,4	-	4,0	2,8
	FS	-	-	-	-	-	-
Sema et al. (2010)	NC	12,1	1,3	11,9	-	2,7	4,3
	FS	12,1-18,5	1,3-1,8	11,9-16,2	-	2,7-3,5	4,3-5,6

FONTE: RODRIGUES, João (2020).

Tabela 10 - Níveis críticos foliares (NC) e faixas de suficiência (FS) para micronutrientes obtidos pelo método DRIS para o abacaxizeiro, comparado aos resultados da literatura.

Autor	Valor	----- mg kg ⁻¹ -----				
		Cu	Fe	Zn	Mn	B
Atual estudo	NC	2,0	41,1	11,6	120,3	28,0
	FS	0,8-3,2	16,5-65,7	6,9-16,3	92,6-148,0	22,5-33,5
Malavolta et al. (1997)	NC	9,0	100,0	10,0	50,0	30,0
	FS	9-12	100-200	10-15	50-200	30-40
Bataglia & Santos (2001)	NC	5,0	50,0	30,0	30,0	50,0
	FS	5-10	50-200	30-100	30-100	50-100
Sema et al. (2010)	NC	7,4	78,4	12,2	41,5	-
	FS	7,4-10,2	78,4-102,5	12,2-15,8	41,5-58,3	-

FONTE: RODRIGUES, João (2020).

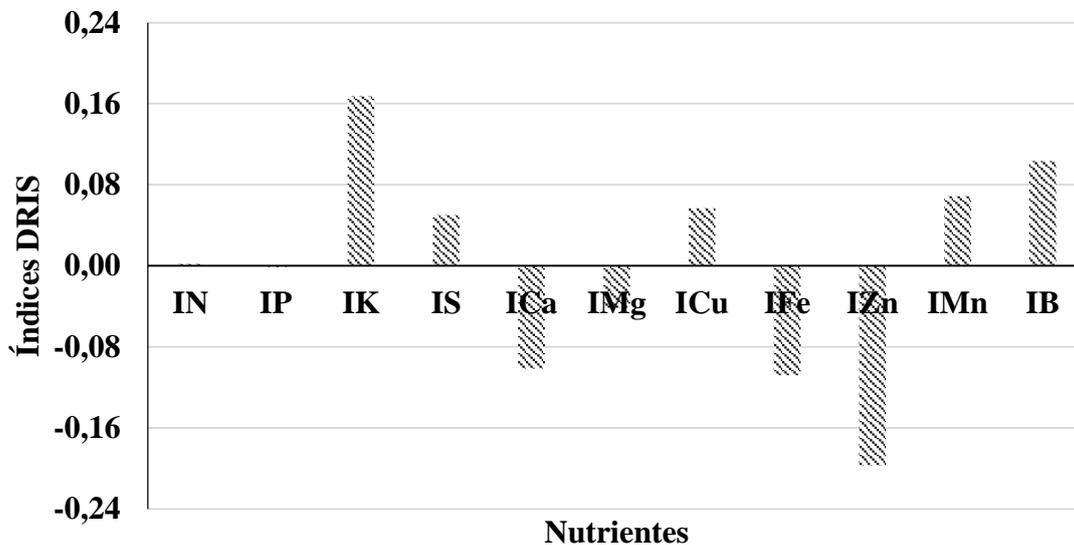
Em relação as faixas de suficiência, observou-se, de modo geral, que as faixas de suficiência estabelecidas para os macronutrientes neste trabalho foram menores do que aquelas encontradas na literatura, exceto para o nutriente K. As faixas de suficiência obtidas para micronutrientes neste trabalho também foram inferiores aos valores reportados na literatura, com exceção das faixas de Zn e Mn propostas por Sema et al. (2010) (Tabela 10).

Diante disso, pode-se afirmar que os valores de referência (níveis críticos e faixas de suficiência) estabelecidos para o cultivar 'Pérola' pelo método DRIS neste trabalho são ferramentas mais adequadas para realizar a diagnose nutricional do abacaxizeiro nas condições locais, quando comparados aos valores disponíveis na literatura.

4. 1. 3 Diagnóstico nutricional

A ordem de limitação (OL) nutricional de maneira decrescente, para o banco de dados, segundo o método DRIS, foi: Zn (deficiência) > K (excesso) > Fe (deficiência) > Ca (deficiência) = B (excesso) > Mn (excesso) > Cu (excesso) > S (excesso) > Mg (deficiência) > P (não limitante) > N (não limitante) (Figura 7). Analisando a ordem de limitação dos nutrientes de acordo com o índice de balanço nutricional (IBN) observa-se que, em relação aos macronutrientes, o K foi o macronutriente que mais limitou a produção por excesso e que o Ca e o Mg foram os que mais limitaram a produção por deficiência (Figura 7). É possível que o excesso de K tenha induzido a deficiência de Ca e Mg, devido ao antagonismo entre esses cátions, os quais competem pelos mesmos sítios de absorção na planta (PRADO, 2008; MARSCHNER, 2012).

Figura 7- Ordem de limitação para os nutrientes N, P, K, S, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn, Mn e B, a partir da população de baixa produtividade, segundo a método DRIS para o abacaxizeiro 'Pérola'. Índices positivos e negativos representam excesso e deficiência, respectivamente.



FONTE: RODRIGUES, João (2020).

Lopez-Montoya et al. (2018) também observaram excesso de K e deficiências de Ca e Mg em trabalho que avaliou o estado nutricional do abacaxizeiro 'MD-2' utilizando o método DRIS, na Colômbia. Comportamento semelhante também foi observado por Sema et al. (2010) ao estabelecerem normas DRIS para o abacaxizeiro 'Kew', utilizando amostras da parte basal da folha 'D', coletadas em lavouras comerciais da região Nordeste da Índia.

O S foi o segundo macronutriente que mais limitou a produção por excesso, o que pode estar relacionado à baixa demanda desse nutriente pelo abacaxizeiro (MAIA et al., 2020), e ao fato de terem sido aplicadas doses superiores à demanda nutricional da cultura (até 380 kg ha⁻¹). Lopez-Montoya et al (2018) também reportaram que o S foi um dos nutrientes que mais limitou a produção por excesso no abacaxizeiro 'MD-2', fato que associaram a utilização de fontes de N e K contendo S em sua composição, o que pode ter promovido o excesso do nutriente nos tecidos.

Com relação aos micronutrientes, observou-se que B, Mn e Cu foram os nutrientes que mais limitaram a produção por excesso, enquanto Zn e Fe limitaram a produção por deficiência (Figura 7).

O excesso de B está, provavelmente, relacionado à aplicação de doses (até 1,5DRMi) que, possivelmente, suplantaram a demanda da cultura, tendo em vista que o limite entre a deficiência e o excesso de B é estreito (PRADO, 2008). Além disso, no ensaio de Itapororoca foi aplicado ácido bórico (H_3BO_3), a forma preferencialmente absorvida pelas raízes, o que pode ter contribuído para a elevação dos teores foliares de B (MARSCHNER, 2012).

Diferentemente dos resultados encontrados neste trabalho, López-Montoya et al. (2018) constataram que, mesmo apresentando teores foliares de 30 mg kg^{-1} , o B foi o micronutriente que mais limitou a produção por deficiência no abacaxizeiro 'MD-2'. Isso pode ser um indicativo de diferenças entre cultivares na demanda pelo B, sendo a cultivar 'Perola', possivelmente, menos exigente em B do que a cultivar 'MD-2'.

O excesso de Mn pode ser explicado pelas concentrações altas e médias de Mn nos solos de Itapororoca e Sapé (Tabela 2), respectivamente, e, adicionalmente pela adição de doses, supostamente, superiores à demanda nutricional do abacaxizeiro. Sema et al. (2010) também observaram que o Mn foi o micronutriente que mais limitou a produção do abacaxizeiro 'Kew' por excesso em lavouras comerciais da Índia, corroborando, assim, os resultados encontrados neste trabalho.

A limitação da produção por excesso de Cu pode ser consequência das aplicações de doses de Cu (4 kg ha^{-1}) maiores do que a demanda nutricional da cultura; adicionalmente, as aplicações de inseticidas e fungicidas durante o ciclo da cultura, visando o controle preventivo de pragas e doenças pode ter contribuído para elevar os teores foliares de Cu.

O Cu é o micronutriente menos exigido pelo abacaxizeiro (MAIA et al. 2020), trabalho realizado por Souza (2012) estudando a absorção de nutrientes pelo abacaxizeiro 'Vitória' irrigado observou exportação de $155,2 \text{ g ha}^{-1}$ de Cu. Excesso de Cu também foi reportado por Lopez-Montoya et al. (2018) em experimentos de adubação realizados na Colômbia utilizando o método DRIS para avaliar o estado nutricional do abacaxizeiro 'MD-2'.

O Zn foi o micronutriente que mais limitou a produção por deficiência (Figura 7), corroborando os resultados obtidos por Sema et al. (2010) para o abacaxizeiro 'Kew' em lavouras comerciais da Índia e por López-Montoya et al. (2018) para o

abacaxizeiro 'MD-2' na Colômbia. É possível que o excesso de Cu tenha contribuído para a deficiência de Zn, devido a inibição que o Cu promove sobre a absorção de Zn (ABREU et al., 2007; MARSCHNER, 2012).

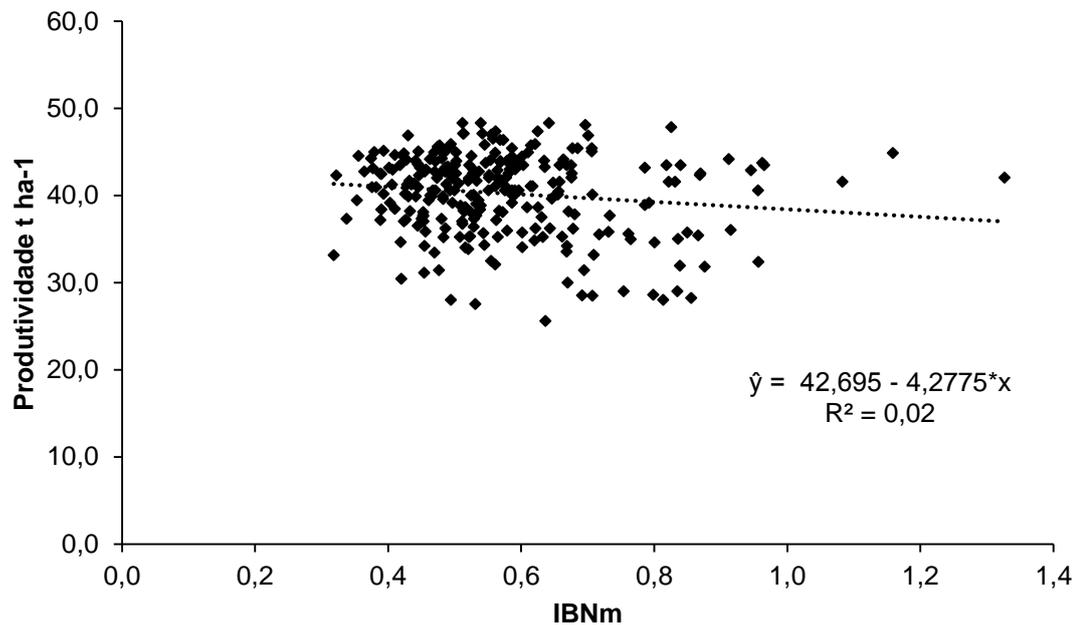
Considerando que a solubilidade e, por conseguinte, a disponibilidade de Fe na solução pode ser reduzida em até mil vezes, com a elevação de uma unidade de pH do solo (ABREU et al., 2007), especula-se que a deficiência de Fe foi motivada pela elevação do pH promovida pela calagem. Ademais, o excesso de Mn pode ter competido com o Fe pelos sítios de absorção da planta (MAIA et al., 2020).

Verifica-se, portanto, a importância do balanço nutricional, tendo em vista que o desbalanço de um determinado nutriente exerce influência nos demais, levando possivelmente a menores rendimentos. Nesse sentido, acredita-se que o uso do método DRIS e das normas que estão sendo propostas constituem ferramentas apropriadas para o monitoramento nutricional e racionalização da adubação na zona abacaxicultora paraibana.

4. 1. 4 Validação das normas

A validação das normas DRIS-Produtividade a partir do relacionamento entre índice de balanço nutricional médio (IBNm) e produtividade (Figura 8) revelou ausência de correlação entre essas duas variáveis, ($R^2= 0,02$), comportamento semelhante àquele observado ao relacionar índices DRIS dos nutrientes e produtividade (Tabela 6).

Figura 8 - Relação entre o índice do balanço nutricional médio (IBNm) e a produtividade do abacaxizeiro 'Pérola'.



FONTE: RODRIGUES, João (2020).

A ausência de correlação entre IBNm e produtividade pode ser explicada pela influência de fatores de ordem não nutricional e não controláveis em ensaios de adubação realizados em condições de campo (temperatura, fotoperíodo, umidade relativa do ar, radiação etc), os quais podem ter influenciado o relacionamento entre o balanço nutricional e a produtividade do abacaxizeiro (VÁSQUEZ-JIMENÉZ E BARTHOLOMEW, 2018). O resultado encontrado nesse trabalho é compatível com o modelo teórico sugerido por Beaufils (1973), que não prevê relação significativa entre produtividade e IBN, uma vez que fatores não nutricionais podem resultar em baixa produtividade, apesar de alto equilíbrio nutricional (IBN baixo).

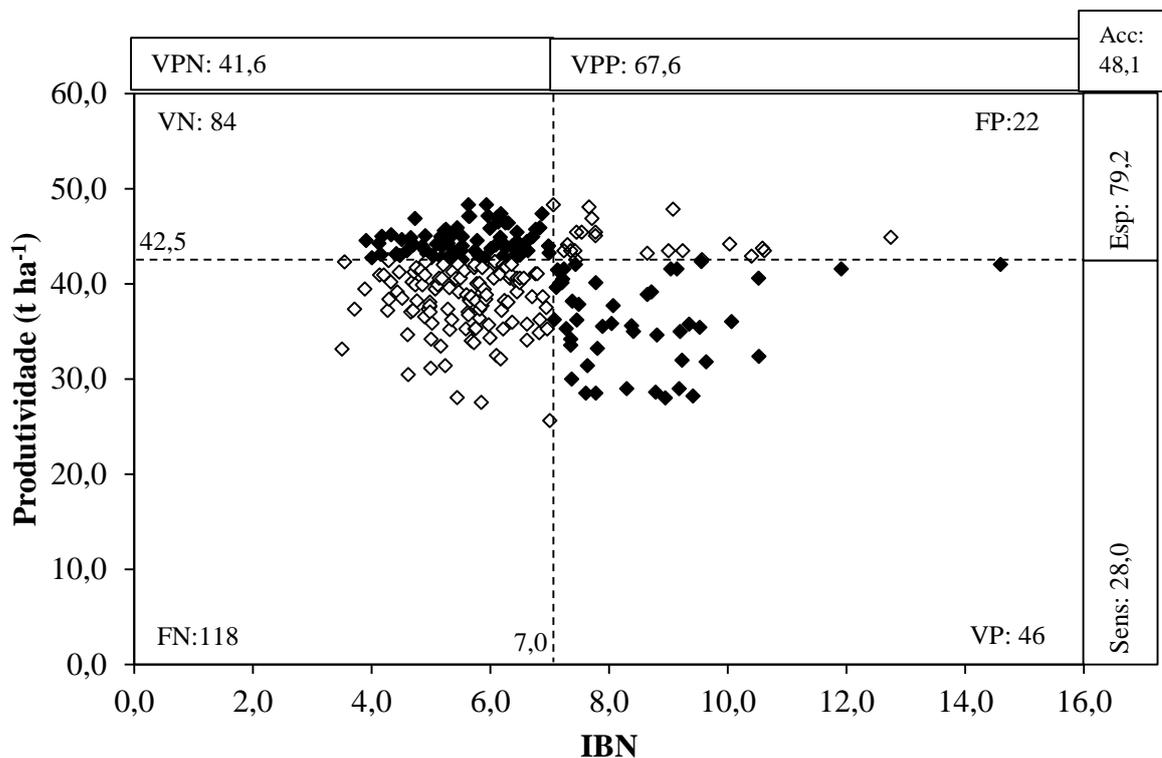
Santos & Rozane (2017) também ausência de correlação entre essas variáveis ($R^2 = 0,01$) na validação das normas DRIS, relacionando IBNm e produtividade, para a cultura da atemóia, no estado de São Paulo. Conforme os autores tais resultados não inviabilizam os padrões obtidos, pois indicam apenas que o IBNm não forneceu informações suficientes para determinar se a produção esteve significativamente associada ao IBN calculado pelo método DRIS.

Teixeira et al. (2009) observaram melhor ajuste ($R^2 = 0,44$) ao relacionarem IBNm e produtividade do abacaxizeiro 'Smooth Cayenne'. Contudo, vale salientar que no referido trabalho o número de amostras (104) e nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) foi relativamente menor, resultado em menor número de relações e de índices DRIS.

Conforme Wadt et al. (2016) elevada correlação entre IBN e produtividade identificam apenas parte das variações que ocorreu no modelo geral pois para baixos valores de IBN, qualquer valor de produtividade pode ser esperado, e para altos valores de IBN, somente valores de baixa produtividade são esperados. Portanto, atribuir desempenho insatisfatório ao DRIS quando o R^2 da correlação é baixo não está correto, já que esse comportamento se explica pela ocorrência de fatores não nutricionais controlando a produtividade (WADT et al., 2016; MENESES, 2017).

A validação das normas resultados pelo método Cate-Nelson indicou que a maior SQ do conjunto amostral correspondeu ao IBN 7,0 (ponto crítico), sendo esse valor utilizado para separar os quadrantes no eixo x; por outro lado, a produtividade utilizada como ponto de separação no eixo y foi de $42,5 \text{ t ha}^{-1}$ (Figura 9).

Figura 9 - Particionamento Cate-Nelson para a relação entre os índices IBN e a produtividade, nas 270 amostras foliares do abacaxizeiro 'Pérola' cultivado nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba. VPN: valor preditivo negativo; VPP: valor preditivo positivo; Sens: sensibilidade; Esp: especificidade; Acc: acurácia.



FONTE: RODRIGUES, João (2020).

Pela partição dos dados, observa-se que no quadrante verdadeiro negativo (VN) foram alocadas 84 amostras, as quais equivalem a 31,1% dos dados e correspondem a população de referência. No quadrante falso positivo (FP) foram alocadas 22 amostras, o que equivale a 8,1% do banco de dados, e indica consumo de luxo ou alta eficiência no uso dos nutrientes (PARENT et al., 2013). No quadrante falso negativo (FN) foram alocadas 118 amostras, indicando que quase metade das amostras (43,7 %) tiveram sua produtividade influenciada por fatores não nutricionais. No quadrante verdadeiro positivo (VP), foram alocadas 46 amostras, ou 17,0 % dos dados, com pelo menos um nutriente limitando a produção, seja por excesso ou falta (Figura 9).

A validação pelo método de Cate-Nelson resultou numa acurácia de 48,1 % ou seja, 130 amostras foram corretamente identificadas como equilibradas ou

desequilibradas nutricionalmente, sendo a produtividade influenciada por fatores nutricionais (Figura 9). Por outro lado, em 28,0 % dos casos a baixa produtividade das plantas se deveu a algum desequilíbrio nutricional (sensibilidade), enquanto que em 79,2% dos casos em que a produtividade foi alta a planta esteve nutricionalmente equilibrada (especificidade). Por fim, os valores preditivos negativo (VPN) e positivo (VPP) foram de 41,6 e 67,6 % respectivamente.

O valor de acurácia encontrado neste trabalho foi inferior ao valor mínimo de 50% estabelecido por Berverly, (1992). foi inferior também aos 58 % reportado por Marchand et al. (2013) para a cultura do cranberry no Canadá e, aos 71,7 % constatados por Deus et al. (2018) para a cultura da banana 'Prata' irrigada no município de Missão Velha-CE. Vale salientar, entretanto, que os referidos trabalhos foram realizados a partir de amostras coletadas em lavouras comerciais em um único município, resultando em um banco de dados mais homogêneo e com menor número de amostras no quadrante FN (amostras influenciadas por fatores não nutricionais) (PARENT et al. (2020).

Conforme Parent et al. (2020), o valor de acurácia é computado a partir do somatório dos valores VN e VP, sendo geralmente maior que 80%; baixos valores de acurácia estão relacionados ao alto percentual de valores FN ou FP, que no presente trabalho foram de 43,70 e 8,14 respectivamente.

O valor de acurácia encontrado neste trabalho foi possivelmente motivado pela ação simultânea de diversos fatores de ordem não nutricional (características químicas, físicas e mineralógicas dos solos; fatores climáticos; doses etc.), os quais teriam influenciado diretamente a absorção, o estado nutricional das plantas, a partição de matéria seca e, conseqüentemente, a produção (VÁSQUEZ-JIMÉNEZ & BARTHOLOMEW, 2018).

Assim, é possível afirmar que o valor de acurácia obtido neste trabalho não inviabiliza a utilização dos padrões nutricionais estabelecidos pelo método DRIS para o abacaxizeiro 'Pérola' na zona abacaxicultora paraibana.

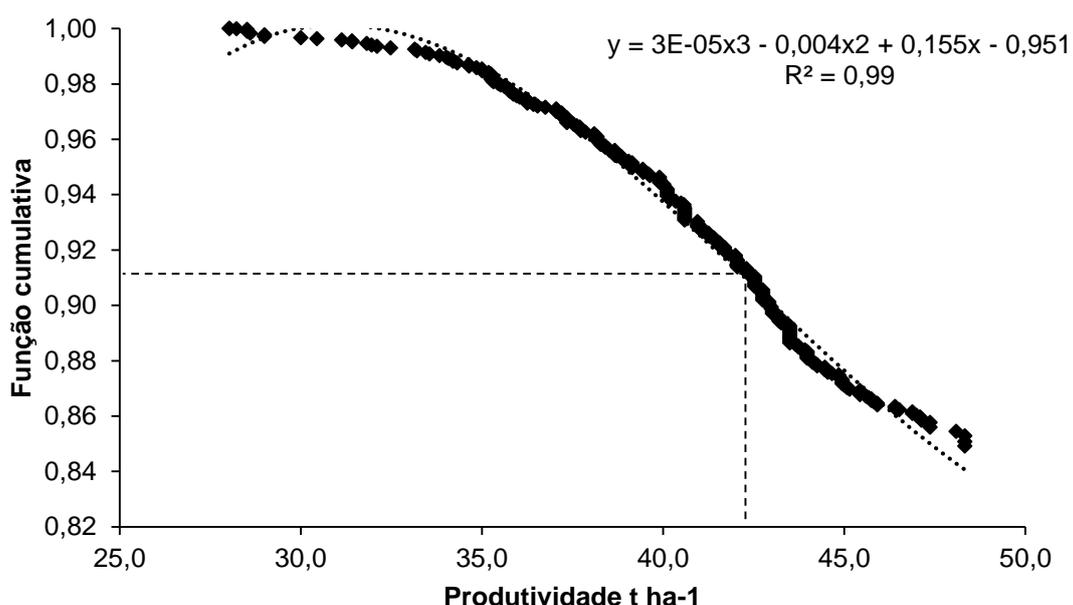
4. 2 CND- PRODUTIVIDADE

4. 2. 1 Estabelecimento das Normas

Antes do estabelecimento das normas CND, realizou-se o teste de normalidade no banco de dados (270 amostras) pelo teste de Shapiro-Wilk ($p \geq 0,05$), observando-se distribuição não normal dos dados. Contudo, ao aplicar a transformação logarítmica nas concentrações individuais dos nutrientes (PARENT et al., 2009), corrigiu-se a distribuição não normal, permitindo desta forma o prosseguimento das demais análises.

Submetendo-se os dados das 270 amostras foliares à distância de Mahalanobis, observou-se que haviam cinco amostras discrepantes (*outliers*), as quais foram excluídas. Assim, a diagnose da composição nutricional das 265 amostras foliares do abacaxizeiro 'Pérola' apresentou função cumulativa (Figura 10), com ponto médio de inflexão na produtividade de $42,6 \text{ t ha}^{-1}$, a qual foi adotada como valor base para a divisão das subpopulações de alta ($> 42,6 \text{ t ha}^{-1}$) e baixa ($< 42,6 \text{ t ha}^{-1}$) produtividade.

Figura 9 - Ponto de inflexão obtido na relação entre produtividade e função cumulativa da variância, com base em dados de 265 amostras foliares de abacaxizeiro 'Pérola'.



FONTE: RODRIGUES, João (2020).

Da população avaliada (265 amostras), 96 amostras (36,2 %) foram classificadas como subpopulação de alta produtividade ou de referência, cuja produtividade variou de 42,6 a 48,3 t ha⁻¹ e coeficiente de variação (CV) de 3,3 %. As 169 amostras restantes (63,7 %) foram classificadas como subpopulação de baixa produtividade, cuja produtividade variou de 25,6 a 42,5 t ha⁻¹ apresentando CV de 10,2% (Tabela 11).

Os valores de produtividade alcançados nas amostras da população de referência foram superiores à produtividade média alcançada no estado da Paraíba, que é de 30,7 t ha⁻¹ (IBGE, 2018). Isso demonstra que a adubação mineral é um dos fatores pré-colheita capazes de potencialmente eleva a produtividade da abacaxicultura paraibana.

Tabela 11- Estatísticas descritiva realizada para as variáveis produtividade e nutrientes em 265 amostras foliares de abacaxizeiro 'Pérola' na região dos Tabuleiros Costeiros Paraibanos.

	População de alta produtividade					População de baixa produtividade					
	Média	Mínimo	Máximo	s	CV	Média	Mínimo	Máximo	s	CV	
	-----t ha ⁻¹ -----					-----t ha ⁻¹ -----					
Prod.	44,5	42,6	48,3	1,5	3,3	37,8	25,6	42,5	3,8	10,2	**
	g kg ⁻¹										
N	13,3	8,0	21,2	2,5	19,1	13,1	8,0	21,9	2,7	20,3	ns
P	1,5	0,8	2,7	0,4	30,2	1,5	0,6	2,6	0,5	32,0	ns
K	33,5	17,4	49,3	7,7	23,1	35,0	17,8	48,8	7,2	20,6	ns
S	1,1	0,6	1,8	0,3	28,5	1,1	0,6	1,9	0,3	28,2	ns
Ca	3,0	1,1	6,5	1,0	34,1	3,0	1,3	5,6	1,0	34,2	ns
Mg	1,9	1,2	2,9	0,5	24,3	1,9	1,3	3,6	0,5	26,8	ns
	mg kg ⁻¹										
Cu	2,8	0,1	6,3	1,7	59,9	3,0	0,1	12,9	1,9	62,3	ns
Fe	45,2	8,0	142,5	19,6	43,5	44,2	6,9	122,2	19,8	44,7	ns
Zn	13,6	3,8	34,5	7,4	54,6	11,9	2,6	31,9	6,7	55,8	ns
Mn	127,7	53,3	258,4	44,5	34,8	128,5	61,8	251,3	39,1	30,5	ns
B	29,5	15,6	57,5	8,8	30,0	29,5	12,5	54,7	7,8	26,4	ns

\bar{x} : média; s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Prod: produtividade. **: ns: significativo a 1% e não significativo, respectivamente pelo teste t de Student. FONTE: RODRIGUES, João (2020).

A produtividade da população de alta produtividade diferiu significativamente da população de baixa produtividade, sendo aproximadamente 18% maior em relação a essa última. Todavia, os teores foliares de macro e micronutrientes dessas populações pouco variaram, não havendo diferenças significativas entre as mesmas (Tabela 11).

Com relação aos coeficientes de variação observou-se que, em ambas as subpopulações, os macronutrientes apresentaram valores na seguinte ordem decrescente: Ca > P > S > Mg > K > N. Com relação aos micronutrientes, foram também observados, em ambas as subpopulações, valores na seguinte ordem decrescente: Cu > Zn > Fe > Mn > B (Tabela 11).

Os maiores valores de CV para o macronutriente Ca estão possivelmente relacionados a variação nas doses de calcário aplicadas nos experimentos (0,4 -3 t ha⁻¹), as quais podem ter influenciado a oferta e a absorção de Ca pelas plantas durante o desenvolvimento, além disso a amplitude dos teores no banco de dados contribui para elevar os valores de CV. Teixeira et al. (2009) também reportaram maiores valores de CV para o Ca (CV = 32,6%) no banco de dados destinado ao estabelecimento de normas DRIS para o abacaxizeiro 'Smooth Cayenne' a partir de ensaios de adubação e calagem.

Os maiores valores de CV para o micronutriente Cu apresentam possíveis causas, as quais incluem: a) variação nas doses e fontes de nutrientes aplicadas; b) redução da solubilidade e disponibilidade de Cu, devido a calagem; c) complexação do Cu do solo da fertilizante pela matéria orgânica do solo (ABREU et al., 2007), todos esses fatores colaboram para elevar a amplitude dos teores foliares desse nutriente no banco de dados e conseqüentemente os valores de CV. Ao avaliarem o estado nutricional do abacaxizeiro 'MD-2' em solos da Colômbia, Lopez-Montoya et al. (2018) também constataram que o Cu foi o micronutriente que apresentou o maior valor de CV (CV = 50) no banco de dados.

Os altos valores de CV encontrados neste trabalho são atribuídos à variação nas características físicas e químicas dos solos e das doses de nutrientes aplicadas em cada experimento (Tabelas 3 e 4), as quais repercutem diretamente na absorção e interação entre nutrientes. Conforme Urano et al. (2007), essa variação é considerada um ponto positivo, pois aumenta a representatividade dos dados e reflete a alta variabilidade nos níveis de fertilidade do solo devido ao manejo da adubação.

As normas CND produtividade para cada nutriente, representadas pela média aritmética e desvio-padrão da população de referência, expressas em valores adimensionais, estão apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Normas CND (média e desvio padrão) da população de referência para o abacaxizeiro 'Pérola' na região dos Tabuleiros Costeiros paraibanos

Variável multinutriente	\bar{x}	s
VN	2,95	0,24
VP	0,71	0,25
VK	3,86	0,27
VS	0,40	0,30
VCa	1,42	0,31
VMg	0,99	0,21
VCu	-5,81	0,96
VFe	-2,81	0,44
VZn	-4,06	0,51
VMn	-1,73	0,38
VB	-3,17	0,27

\bar{x} : média; s: desvio padrão; FONTE: RODRIGUES, João (2020).

Verificou-se que a maior e a menor relação multinutriente foi observada para K (3,86), e Cu (-5,81), respectivamente. Vale ressaltar, entretanto, que valores negativos e positivos das relações multinutrientes não significam deficiência ou excesso, mas apenas que o teor foliar do nutriente avaliado é maior ou menor que o valor da média geométrica, respectivamente (WADT & SILVA, 2020).

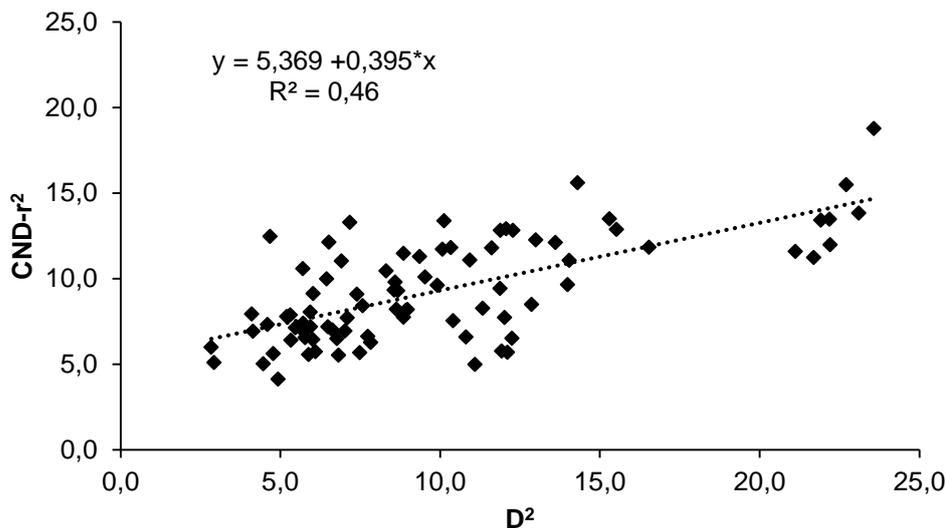
Assim, tendo em vista que o método CND realiza os cálculos com todos os nutrientes na mesma unidade, e que o valor da média geométrica tende a ser superior aos teores foliares dos micronutrientes, é comum as normas multinutrientes para micronutrientes apresentarem valores negativos. Comportamento semelhante foi observado por Dias et al. (2017), em pomares comerciais de laranja 'Pêra' no estado do Amazonas; Labaied et al. (2018) em pomares comerciais de Citrus na Tunísia, e Wadt & Silva (2020) para a cultura da manga no Vale do São Francisco.

Na literatura inexistem informações sobre normas nutricionais multivariadas para o abacaxizeiro, o que impossibilita a comparação dos resultados obtidos neste trabalho. Assim, este trabalho tem o mérito de estabelecer de forma pioneira normas CND para o abacaxizeiro 'Pérola', as quais podem servir de ferramentas diagnóstica para avaliar o estado nutricional do abacaxizeiro 'Pérola' no estado da Paraíba e, preferencialmente, nos demais estados produtores.

A equação de regressão estabelecida entre as variáveis distância de Mahalanobis (D^2) e índice de desequilíbrio nutricional ($CND-r^2$), utilizando-se as amostras da população de referência, apresentou ajuste razoável ($R^2 = 0,46$). Isso significa que existe relação entre a D^2 e o estado nutricional da planta, o que pode

ser confirmado pelo fato de que quanto mais equilibrada (CND-r²) encontra-se a amostra, ou seja, mais próxima de zero, menor é o valor da distância de Mahalanobis (D²) (Figura 11).

Figura 10 - Relação entre o Índice de desequilíbrio nutricional (CND-r²) e a distância de Mahalanobis (D²) nas amostras da população de alta produtividade.



FONTE: RODRIGUES, João (2020).

Coeficiente de determinação ($R^2 = 0,46$) encontrado neste trabalho foi superior ao observado por Khiari et al. (2001) para a cultura da batata ($R^2 = 0,34$), isso indica que a distância de Mahalanobis é um método útil para verificar a magnitude do desequilíbrio nutricional.

Por outro lado, as equações de regressão estabelecidas entre a produtividade e os índices CND de cada nutriente apresentaram baixos valores de coeficiente de determinação ($R^2 = 0,01$ a $0,08$ (Tabela 13)). Neste caso, os resultados evidenciam que os nutrientes considerados individualmente explicam um percentual muito pequeno na variação da produtividade, sendo mais interessante levar em consideração o balanço nutricional completo da cultura.

Tabela 13 - Modelos estatísticos da produtividade em função dos índices CND, para os nutrientes avaliados no abacaxizeiro 'Pérola'.

Índices CND	Equação	R ²
	g kg ⁻¹	
N	$\hat{y} = \hat{y} = - 0,02$	-
P	$\hat{y} = 40,23 - 0,651^{**}x$	0,02
K	$\hat{y} = 40,37 - 1,351^{**}x$	0,08
S	$\hat{y} = 40,27 - 1,181^{**}x$	0,06
Ca	$\hat{y} = \bar{Y} = - 0,01$	-
Mg	$\hat{y} = \bar{Y} = - 0,01$	-
	mg kg ⁻¹	
Cu	$\hat{y} = 40,18 + 0,697^*x$	0,02
Fe	$\hat{y} = \bar{Y} = - 0,04$	-
Zn	$\hat{y} = 40,42 + 1,194^{**}x$	0,08
Mn	$\hat{y} = 40,28 - 0,989^*x$	0,03
B	$\hat{y} = 40,23 - 0,601^{ns}x$	0,01

**; * e ns: significativo a 1 e 5% e não significativo, respectivamente pelo teste F. FONTE: RODRIGUES, João (2020).

Baixos valores de coeficiente de determinação ($R^2 = 0,1$ a $0,2$) para a relação entre as variáveis produtividade e índices CND também foi relatada por Rios-Plaza et al. (2017) com a cultura da pimenta no Chile. Nowaki (2017) também reportou baixos valores de R^2 ($0,01$ a $0,09$) ao correlacionar a produtividade com os índices CND na cultura do tomate no estado de São Paulo.

Sobre esses resultados é importante destacar ainda que a análise foliar não é seletiva, pois o conteúdo do nutriente no interior do vacúolo celular também é contabilizado na análise química. Desse modo, nem sempre os maiores teores dos nutrientes estão associados à maiores valores de produtividade, pois o conteúdo nutriente do vacúolo pode não ter sido metabolizado pela planta (MALAVOLTA et al., 1997; PARENT et al., 2020).

Ademais, é possível que o modelo ajustado seja inadequado para relacionar variáveis obtidas por abordagem multivariada, uma vez que a obtenção dos índices CND de cada nutriente envolve as interações entre todos (PARENT et al., 2020).

4.2.2. Nível crítico e Faixas de Suficiência

Na Tabela 14 constam os níveis críticos e as faixas de suficiência de macro e micronutrientes pelo método CND.

Tabela 14 - Modelos estatísticos dos índices CND em função do teor foliar de cada nutriente, nível crítico (NC), limite inferior (LI) e limite superior (LS) da faixa de suficiência dos macronutrientes e micronutrientes para o abacaxizeiro 'Pérola' obtidos pela metodologia CND

Nutriente	Equação	R ²	NC	LI	LS
				g kg ⁻¹	
N	IN = -4,241 + 0,319**x	0,72	13,3	11,6	15,0
P	IP = -3,802 + 2,232**x	0,81	1,4	1,1	1,7
K	IK = -3,334 + 0,133**x	0,77	33,4	28,4	38,4
S	IS = -3,043 + 2,904**x	0,80	1,0	0,8	1,2
Ca	ICa = - 3,539 + 1,500**x - 0,096**x ²	0,85	2,9	2,2	3,6
Mg	IMg = - 4,776 + 3,281**x - 0,374**x ²	0,73	1,8	1,5	2,2
				mg kg ⁻¹	
Cu	ICu = - 0,671 + 0,954**ln(x)	0,99	2,0	0,8	3,2
Fe	IFe = - 3,370 + 0,098**x - 0,000**x ²	0,93	41,3	28,1	54,4
Zn	IZn = - 3,062 + 0,332**x - 0,006**x ²	0,94	11,8	7,1	16,5
Mn	IMn = - 4,157 + 0,045**x - 0,000**x ²	0,87	119,8	92,4	147,2
B	IB = - 4,687 + 0,212**x - 0,001**x ²	0,78	28,6	23,1	34,1

** , * = Significativo a 1 e 5 % respectivamente pelo teste F. FONTE: RODRIGUES, João (2020).

A comparação dos níveis críticos (NC) e faixas de suficiências (FS) de macro e micronutrientes obtidos nesse trabalho e reportadas na literatura para o abacaxizeiro são apresentados nas tabelas 15 e 16, respectivamente. De forma geral, os valores de NC e FS estabelecidos neste trabalho para P, K e Mn foram maiores em relação àqueles reportados na literatura; por outro lado, os valores de NC e FS para os micronutrientes Cu, Fe, Zn e B, e para N, S, Ca e Mg foram inferiores àqueles encontrados na literatura (Tabela 15 e 16).

Os níveis críticos (NC) apresentaram as maiores variações para os nutrientes N, K e Mg. O NC de N obtido pelo CND nesse trabalho, foi 98,5 % inferior ao sugerido por Malavolta et al. (1997), enquanto que os NC de K e Mg obtidos pelo método CND foram 180,6 % superiores e 138 % inferiores, respectivamente, em relação aos valores estabelecidos por Sema et al. (2010) para o abacaxizeiro 'Kew' na Índia.

Tais resultados evidenciam que valores de referência sofrem a influência de diversos fatores: cultivar; condições edafoclimáticas, época de coleta, parte da folha analisada, forma de obtenção dos dados métodos de interpretação etc. Assim, a utilização de padrões nutricionais específicos é preferível em relação aos padrões

nutricionais universais, especialmente para os micronutrientes, cujo intervalo entre suficiência e toxidez é estreito. Dessa forma, a utilização de valores de referência regionalizados pode tornar o diagnóstico nutricional mais seguro e preciso (SEMA et al., 2010; MAIA et al., 2020).

As equações de regressão ajustadas entre os índices CND e os teores foliares de cada nutriente, apresentaram valores de coeficientes de determinação altos ($R^2 > 0,72$) e significativos, evidenciando a estreita relação entre essas variáveis (Tabela). Tendência semelhante foi observada por Labaied et al. (2018) ao estabelecerem normas CND para citros na Tunísia. Elevados valores de R^2 (0,50 – 0,85) também foram relatados por Ali, (2018) que estabeleceu normas CND para a cultura da manga nas condições ambientais do Egito, e também por Rozane et al. (2020) que estabeleceram normas CND para a cultura da videira cultivadas no estado do Rio Grande do Sul em que os valores de R^2 variaram de 0,61 -0,90.

Para micronutrientes as maiores variações foram observadas para Cu, Mn e Zn (Tabela 16). Os NC de Cu obtido pelo CND foi 350 % menor em relação ao NC sugerido por Malavolta et al. (1997). O NC de Mn obtido pelo CND foi 300 % superior ao NC recomendado por Bataglia & Santos (2001), enquanto que o NC de Zn foi 154,2 % inferior àquele sugerido pelos mesmos autores.

Tabela 15 - Níveis críticos (NC) e faixas de suficiência (FS) para macronutrientes obtidos pelo método CND e valores de referência disponíveis na literatura

Fonte	Método	N	P	K	S	Ca	Mg
Atual estudo	NC	13,3	1,4	33,4	1,0	2,9	1,8
	FS	11,6-15,0	1,1-1,7	28,4-38,4	0,8-1,2	2,2-3,6	1,5-2,2
Sema et al. (2010)	NC	12,1	1,3	11,9	-	2,7	4,3
	FS	12,1-18,5	1,3-1,8	11,9-16,2	-	2,7-3,5	4,3-5,6
Teixeira et al. (2009)	NC	12,0	0,9	21,4	-	4,0	2,8
	FS	-	-	-	-	-	-
Bataglia & Santos (2001)	NC	15,0	0,8	25,0	-	3,0	4,0
	FS	15-17	0,8-1,2	25-27	-	3,0-4,0	4,0-5,0
Malavolta et al. (1997)	NC	20,0	2,1	25,0	2,0	3,0	4,0
	FS	20-22	2,1-2,3	25-27	2-3	3,0-4,0	4,0-5,0
Angeles et al. (1990)	NC	14,3	1,4	27,7	-	-	-
	FS	-	-	-	-	-	-

FORTE: RODRIGUES, João (2020).

Tabela 16 - Níveis críticos (NC) e faixas de suficiência (FS) para micronutrientes obtidos pelo método CND e valores de referência disponíveis na literatura

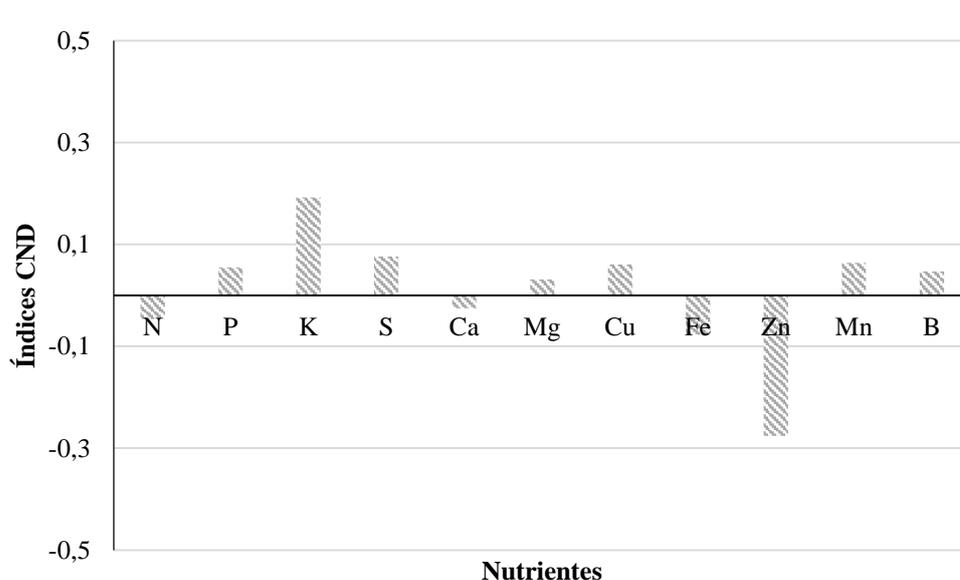
Fonte	Método	Cu	Fe	Zn	Mn	B
		----- mg kg ⁻¹ -----				
Atual estudo	NC	2,0	41,3	11,8	119,8	28,6
	FS	0,8-3,2	28,1-54,4	7,1-16,5	92,4-147,2	23,1-34,1
Sema et al. (2010)	NC	7,4	78,4	12,2	41,5	-
	FS	7,4-10,2	78,4-102,5	12,2-15,8	41,5-58,3	-
Bataglia & Santos (2001)	NC	5,0	50,0	30,0	30,0	50,0
	FS	5-10	50-200	30-100	30-100	50-100
Malavolta et al. (1997)	NC	9,0	100,0	10,0	50,0	30,0
	FS	9-12	100-200	10-15	50-200	30-40

FORTE: RODRIGUES, João (2020).

4. 2. 3 Diagnose Nutricional

Segundo o método CND a limitação nutricional, em ordem decrescente, para o banco de dados foi a seguinte: Zn (deficiência) > K (excesso) > Fe (deficiência) > S (excesso) > Mn (excesso) > Cu (excesso) > P (excesso) > N (deficiência) = B (excesso) > Mg (excesso) > Ca (deficiência) (Figura 11).

Figura 11. Ordem de limitação para os nutrientes N, P, K, S, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn, Mn e B, na população de baixa produtividade, segundo a metodologia CND, para o abacaxizeiro 'Pérola'.



FORTE: RODRIGUES, João (2020).

Observa-se que o K foi o macronutriente que mais limitou a produção por excesso, e que o N foi o que mais limitou a produção por deficiência. Para micronutrientes, Zn foi o principal nutriente a limitar a produção por deficiência, enquanto que o Mn foi o que mais limitou a produção por excesso.

O excesso de K pode ser explicado pelas altas doses aplicadas desse nutriente, bem como pela disponibilidade relativamente adequada de K nos solos. Adicionalmente, é bastante conhecido na literatura o fenômeno denominado de “consumo de luxo”, em que a planta absorve e acumula quantidades superiores à sua demanda, sem que necessariamente haja conversão em matéria seca (MAIA et al., 2020). Lopez-Montoya et al. (2018) e Sema et al. (2010) também constataram que o K foi o macronutriente que mais limitou a produção do abacaxizeiro ‘MD-2’ e ‘Kew’, quando cultivados em solos da Colômbia e Índia respectivamente.

O excesso de Mn pode ser explicado pelos teores adequados de Mn nos solos de Itapororoca e Sapé (Tabela 2), associados com a aplicação de doses de Mn, possivelmente superiores à demanda nutricional da cultura. Conforme Malézieux e Bartholomew (2018) é comum a ocorrência de “consumo de luxo” de Mn no abacaxizeiro quando a disponibilidade no solo e, ou, as concentrações foliares são adequadas.

A deficiência de N pode ter sido influenciada pelo excesso de K, o qual compete com o íon amônio (NH_4^+) pelos sítios de absorção das raízes (MARSCHNER, 2012).

Por outro lado, a deficiência de Zn pode ser consequência do excesso de Mn e Cu, elevando a competição entre esses íons e o Zn pelos sítios de absorção (ABREU et al., 2007; MARSCHNER, 2012); o efeito antagônico entre P e Zn, pode ter formado fosfato de zinco, reduzindo a solubilidade e absorção de Zn pela planta (PRADO, 2008; MARSCHNER, 2012). Deficiências de Zn também foram reportadas por López-Montoya et al. (2018) para o abacaxizeiro ‘MD-2’ na Colômbia, e por Sema et al. (2010) para o abacaxizeiro ‘Kew’ na Índia.

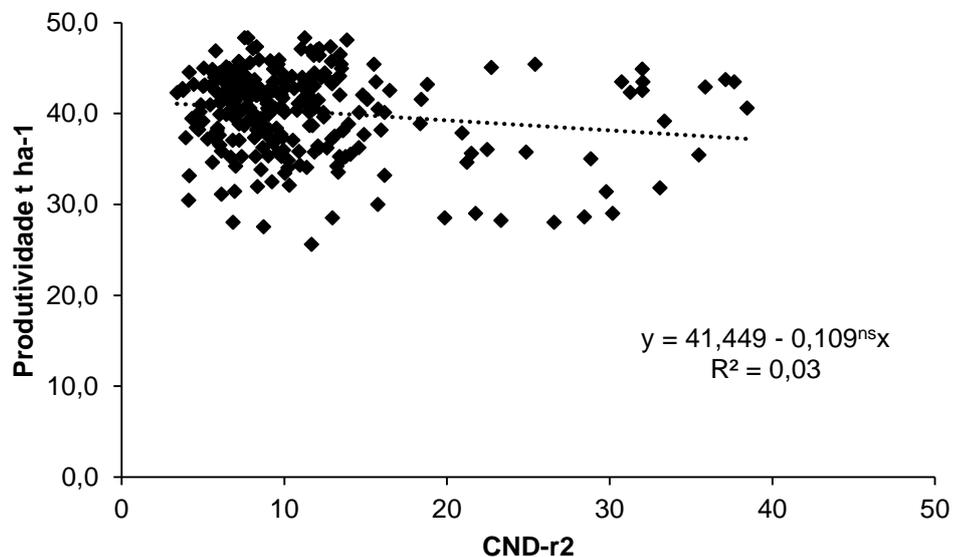
Os resultados encontrados neste trabalho demonstram, novamente, que o desbalanço nutricional pode influir negativamente na produtividade da cultura, reforçando a importância do monitoramento nutricional do abacaxizeiro. Nesse

sentido, os valores de referência obtidos nesse trabalho tornam-se ferramentas indispensáveis para subsidiar o manejo nutricional da cultura, contribuindo para o uso racional e eficiente de fertilizantes.

4. 2. 4 Validação das Normas

A validação das normas CND – Produtividade por meio do relacionamento entre o índice de desequilíbrio nutricional médio (CND-r²) e a produtividade revelou coeficiente de determinação muito baixo ($R^2 = 0,03$) (Figura 13). Isso, provavelmente se deveu aos baixos valores de R^2 obtidos no modelo estabelecido entre os índices CND dos nutrientes e a produtividade (Tabela 13), uma que o CND-r² resulta do somatório de valores de todos os índices CND.

Figura 12. Relação entre a produtividade e o índice de desequilíbrio nutricional (CND-r²) para o abacaxizeiro ‘Pérola’ na região dos Tabuleiros Costeiros – PB.



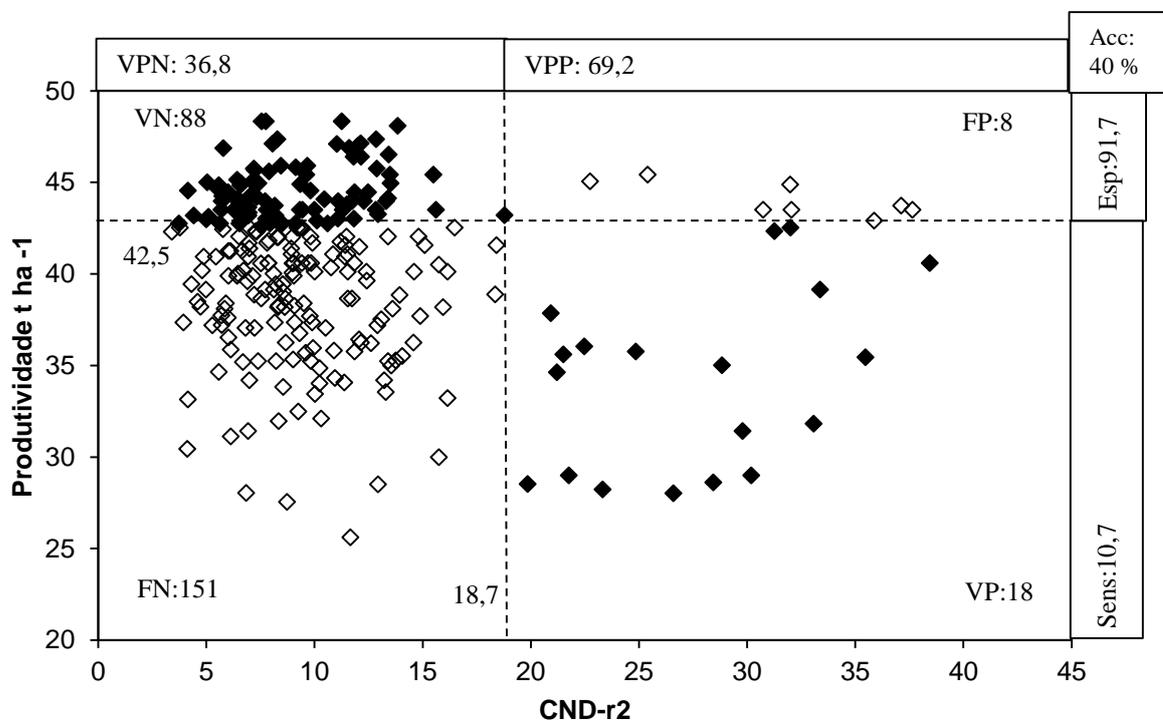
FONTE: RODRIGUES, João (2020).

Suszek et al. (2017) também encontraram falta de ajuste ($R^2 = 0,02$) ao relacionarem valores de CND-r² e produtividade de citrus no Nordeste paraense. Resultado semelhante foi reportado por Nowaki (2017) na cultura do tomate no estado de São Paulo, com valores de R^2 igual a 0,17. Segundo esses autores os

baixos valores de R2 encontrados são decorrentes de fatores não nutricionais que comprometem a produtividade. Desse modo, mesmo que as amostras estejam nutricionalmente equilibradas eles podem apresentar baixas produtividade em função de condições ambientais desfavoráveis ataques de pragas e doenças etc, pois o modelo geral utilizado nesse tipo de análise explica apenas a variação na produtividade decorrente de fatores nutricionais (WADT et al., 2016).

A validação das normas pelo método Cate-Nelson apresentou CND-r² (ponto crítico) com valor de 18,7. Sendo esse valor, correspondente a maior SQ do conjunto amostral, e utilizado para separar os quadrantes no eixo x; por outro lado, a produtividade usada como ponto de separação no eixo y foi de 42,6 t ha⁻¹ (Figura 14).

Figura 13 - Particionamento Cate-Nelson para a relação entre os índices CND-r² e a produtividade das 265 amostras foliares do abacaxizeiro 'Pérola' cultivado nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba. VPN: valor preditivo negativo; VPP: valor preditivo positivo; Sens: sensibilidade; Esp: especificidade; Acc: acurácia.



FONTE: RODRIGUES, João (2020).

Pela partição dos dados, observa-se que no quadrante verdadeiro negativo (VN) (referente a população de referência) foram alocadas 88 amostras, o que corresponde a 33,2 % dos dados. Para o quadrante falso positivo (FP) (consumo de luxo) foram alocadas 8 amostras o que corresponde a 3,0% do banco de dados. No quadrante falso negativo (FN), relacionado a influência de fatores não nutricionais, foram alocadas 151 amostras que corresponde a 56,9 % dos dados. No quadrante verdadeiro positivo (VP) foram alocadas 18 amostras, ou seja, 6,7 % dos dados, as quais representam amostras desequilibradas, em que pelo menos um nutriente está limitando a produção, seja por excesso ou falta (Figura 14).

Para o banco de dados utilizado (265 amostras), o método Cate-Nelson revelou acurácia de 40%, ou seja, 106 amostras foram corretamente identificadas como equilibradas ou desequilibradas nutricionalmente, sendo a produtividade influenciada por fatores nutricionais. Além disso, em 10,7 % dos casos a baixa produtividade obtida se deveu a algum desequilíbrio nutricional (sensibilidade), enquanto que em 91,7 % dos casos em que a produtividade foi alta a planta esteve nutricionalmente equilibrada (especificidade). Por fim, os valores preditivos negativo (VPN) e positivo (VPP) foram de 36,8 e 69,2 % respectivamente (Figura 14).

O valor de acurácia encontrado neste trabalho foi inferior aos 58% reportados por Marchand et al. (2013) para a cultura do cranberry em Quebec, Canadá e, aos 71,7 % constatados por Deus et al. (2018) para a cultura da banana 'Prata' irrigada no município de Missão Velha, Ceará. Possivelmente, o valor de acurácia encontrado nesta pesquisa (inferior a 50%) foi motivado pela ação simultânea de diversos fatores de ordem não nutricional (diferença nas características químicas, físicas e mineralógicas dos solos; variações dos fatores climáticos, doses, épocas de aplicação e fontes de fertilizantes e corretivos, etc.), os quais exercem influência no crescimento, estado nutricional e produção do abacaxizeiro (MALÉZIEUX & BARTHOLOMEW, 2018).

4. 3 COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DRIS E CND

Após submeter o banco de dados original (270 amostras) à distância de Mahalanobis, foram excluídos cinco *outliers*, destinando-se assim, para ambas as metodologias testadas, um total de 265 amostras. Assim, utilizando-se os

procedimentos sugeridos por Khiari et al. (2001) definiu-se a produtividade de 42,6 t ha⁻¹ como ponto de corte para separar as populações de alta e baixa produtividade.

Os valores do teste de qui-quadrado (χ^2), realizado para o DRIS e o CND, foram significativos a 5% (Tabela 17). Assim, rejeitou-se a hipótese de que a frequência com que os nutrientes foram diagnosticados como mais limitantes por deficiência se deveu ao acaso. Dessa forma, pode-se afirmar que ambos os métodos foram eficientes para diagnosticar diferenças nas probabilidades de resposta positiva à adubação do abacaxizeiro. Resultados semelhantes foram reportados por Serra et al. (2010) ao avaliarem o estado nutricional do algodoeiro pelos métodos DRIS e CND em lavouras comerciais da Bahia; e Também por Politi et al. (2013) em pomares com a cultura da Mangueira no Vale do São Francisco, bem como por isso significa que a frequência de classificação dos nutrientes diagnosticados como desequilibrados não foi feita de forma aleatória.

Tabela 17- Cálculo do Qui-quadrado (χ^2), para as frequências observadas (%) de N, P, K, S, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn, Mn e B como nutriente limitante primário por deficiência de acordo com o potencial de resposta à adubação (PRA) pelos métodos DRIS e CND

Nutriente	DRIS			CND		
	FO	FE	(FO-FE) ² /FE	FO	FE	(FO-FE) ² /FE
N	2,64	9,09	4,58	6,79	9,09	0,58
P	13,58	9,09	2,22	16,98	9,09	6,85
K	4,15	9,09	2,68	4,91	9,09	1,93
S	6,04	9,09	1,03	3,77	9,09	3,11
Ca	15,09	9,09	3,96	9,43	9,09	0,01
Mg	3,02	9,09	4,06	7,17	9,09	0,41
Cu	10,19	9,09	0,13	9,43	9,09	0,01
Fe	12,45	9,09	1,24	11,32	9,09	0,55
Zn	15,47	9,09	4,48	15,47	9,09	4,48
Mn	10,94	9,09	0,38	7,17	9,09	0,41
B	6,42	9,09	0,79	7,55	9,09	0,26
χ^2			25,55*			18,59*

FONTES: RODRIGUES, João (2020); Com potencial de resposta à adubação positiva (p), conforme Wadt (1996). FO e FE correspondem às frequências observada e esperada, respectivamente; *: significativo a 5 % de probabilidade

Agrupando-se os diagnósticos nutricionais em três classes, conforme preconizado por Silva (2001), observou-se que o P foi o nutriente que apresentou a maior frequência como limitante por falta (LF), para ambos os métodos (30,57 DRIS e 32,83% CND). Por outro lado, o Fe foi exibiu a maior frequência como limitante por excesso (LE); 38,11 e 33,96% das amostras foram diagnosticadas nesta classe, pelos métodos DRIS e CND, respectivamente (Tabela 18).

Tais resultados demonstram que houve concordância entre os métodos em diagnosticar quais nutrientes estavam desbalanceados, seja por deficiência ou por excesso; contudo, houve diferença entre os métodos na frequência com que cada nutriente foi diagnosticado. No geral, o método CND foi mais rigoroso para diagnosticar deficiências, enquanto que o método DRIS foi mais rigoroso para diagnosticar os excessos (Tabela 18).

Tabela 18 - Frequência de diagnose do estado nutricional de N, P, K, S, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn, Mn e B determinada pelos métodos DRIS e CND, em 265 amostras de abacaxizeiro 'Pérola' coletadas na região dos Tabuleiros costeiros da Paraíba.

Nutriente	Método	Estado nutricional		
		LF	NL	LE
		-----%-----		
N	DRIS	16,23	61,89	21,89
	CND	25,66	51,70	22,64
P	DRIS	30,57	46,42	23,02
	CND	32,83	41,89	25,28
K	DRIS	14,72	60,00	25,28
	CND	21,89	52,45	25,66
S	DRIS	20,38	59,25	20,38
	CND	22,26	54,34	23,40
Ca	DRIS	28,30	53,58	18,11
	CND	29,81	56,60	13,58
Mg	DRIS	16,60	68,68	14,72
	CND	29,43	50,57	20,00
Cu	DRIS	13,21	57,74	29,06
	CND	12,83	70,19	16,98
Fe	DRIS	28,30	33,58	38,11
	CND	25,66	40,38	33,96
Zn	DRIS	29,06	46,04	24,91
	CND	24,53	53,96	21,51
Mn	DRIS	23,40	51,70	24,91
	CND	21,51	59,62	18,87
B	DRIS	17,74	64,53	17,74
	CND	18,49	63,77	17,74

FONTE: RODRIGUES, João (2020); LF: limitante por falta, LE: limitante por excesso, NL: não limitante, conforme Silva et al. (2001).

A limitação de P pode estar relacionada ao excesso de Fe, que pode ter resultado na formação de fosfato de ferro, o qual possui baixa solubilidade e reduz a absorção de P pela planta. Antagonismo entre P e Fe foi reportado por Ali (2018), ao utilizar o método CND para avaliar o estado nutricional da mangueira em lavouras comerciais do Egito, e por Sema et al. (2010) ao avaliarem o estado nutricional de lavouras comerciais de abacaxizeiro 'Kew' pelo método DRIS em solos da Índia.

O excesso de Fe pode estar relacionado às doses aplicadas nos ensaios de Sapé e Itapororoca, nos quais os teores de Fe do solo já se encontravam adequados

(Tabela 3). O Fe, embora seja essencial para o crescimento e o desenvolvimento das plantas pode, em determinadas condições, ser absorvido e acumulado em concentrações consideradas tóxicas ao metabolismo vegetal (MARSCHNER, 2012).

Observaram-se diferenças entre os diagnósticos realizados pelos métodos DRIS e CND em determinar a frequência com que os nutrientes foram alocados nas classes de resposta positiva ou negativa à adubação, ou seja, a frequência com que o nutriente foi classificado como mais limitante por deficiência ou excesso, respectivamente (Tabela 19).

Tabela 19 - Frequência de diagnose do nutriente com resposta positiva e negativa à adubação (p e n), respectivamente, de acordo com o PRA em 265 amostras de abacaxizeiro 'Pérola' coletadas na região dos Tabuleiros Costeiros da Paraíba, utilizando as metodologias DRIS e CND.

Nutriente	Método	Potencial de resposta à adubação	
		p	n
		----- % -----	
N	DRIS	2,64	13,21
	CND	6,79	15,47
P	DRIS	13,58	9,43
	CND	16,98	12,08
K	DRIS	4,15	6,42
	CND	4,91	7,92
S	DRIS	6,04	6,42
	CND	3,77	7,55
Ca	DRIS	15,09	8,30
	CND	9,43	6,04
Mg	DRIS	3,02	4,91
	CND	7,17	9,43
Cu	DRIS	10,19	8,68
	CND	9,43	5,66
Fe	DRIS	12,45	18,87
	CND	11,32	17,74
Zn	DRIS	15,47	9,43
	CND	15,47	7,17
Mn	DRIS	10,94	5,66
	CND	7,17	1,89
B	DRIS	6,42	8,68
	CND	7,55	9,06

FONTE: RODRIGUES, João (2020).

A frequência com que o nutriente foi classificado como o mais limitante por deficiência (p) foi maior pelo método CND para os nutrientes N, P, K, Mg e B; a frequência dos nutrientes S, Ca, Cu, Fe e Mn foi maior pelo método DRIS; tendo o micronutriente Zn apresentado a mesma frequência em ambos os métodos. Para a frequência com que o nutriente foi classificado como o mais limitante por excesso (n), o método CND apresentou maiores percentuais para N, P, K, S, Mg e B,

enquanto que o método DRIS apresentou os maiores percentuais para Ca, Cu, Fe, Zn e Mn (Tabela 19).

Os resultados encontrados neste trabalho indicam que os métodos DRIS e CND apresentam resultados semelhantes quando se trata de identificar qual nutriente está desequilibrado, seja por deficiência ou por excesso; todavia, conforme o PRA, os métodos diferem quando o objetivo é identificar o nível de desequilíbrio para os nutrientes avaliados.

De maneira geral, a maioria dos macronutrientes apresentou maior frequência, tanto na classe limitante por deficiência como na classe limitante por excesso, pelo método CND, enquanto que os micronutrientes apresentaram maiores frequências quando foi utilizado o método DRIS (Tabela 19). Resultados semelhantes foram reportados por Labaied et al. (2018) em pomares comerciais de citros na Tunísia.

Esse comportamento pode estar relacionado ao modo pelo qual cada método obtém seus índices, pois, diferentemente do DRIS no método CND os teores foliares dos nutrientes são avaliados na mesma unidade; além disso, o método CND utiliza nos cálculos a média geométrica entre todos os nutrientes e, atribuindo-se pesos diferentes para cada nutriente (PARENT e DAFIR, 1992).

Assim, no método CND os teores foliares dos macronutrientes serão muito superiores aos valores dos micronutrientes no banco de dados, o que do ponto de vista fisiológico está mais coerente, tendo em vista que em situações em que os desequilíbrios nutricionais entre os macro e micronutrientes aconteçam em intensidades semelhantes, os desequilíbrios dos macronutrientes causará maior impacto na produtividade da planta, devido os macronutrientes possuírem função estrutural na planta (TAIZ et al., 2017).

Quando se avaliou o estado nutricional do abacaxizeiro com relação à frequência de diagnósticos concordantes, considerando os nutrientes isoladamente, observa-se que o percentual de diagnoses concordantes variou de 78,1 a 94,0 % (Tabela 20). Politi et al. (2013) avaliando o estado nutricional de lavouras comerciais de mangueira irrigada pelos métodos DRIS e CND, encontraram a frequência de diagnoses concordantes variando de 85 a 99 %.

Tabela 20 - Frequência de talhões com diagnoses concordantes do estado nutricional, determinadas pelos métodos DRIS e CND, em 265 amostras de abacaxizeiro 'Pérola' coletadas na região dos Tabuleiros Costeiros da Paraíba.

DRIS vs CND											
N	P	K	S	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn	B	\bar{x}
-----%-----											
85,3	91,7	84,9	89,1	91,7	78,1	87,5	93,2	91,3	92,1	94,0	89,0

FONTE: RODRIGUES, João (2020).

Ao foi avaliar a frequência de diagnoses concordantes dos nutrientes conjuntamente obteve-se valor médio de 89,0 %, indicando que em apenas 11,0 % do banco de dados os diagnósticos realizados pelos respectivos métodos discordaram em pelo menos um dos nutrientes avaliados (SILVA et al., 2004). Esse percentual foi superior aos 87,7 reportados por Serra et al. (2010) ao utilizarem a mesma forma de comparação de diagnósticos realizados pelo DRIS e CND em lavouras comerciais de algodão nas condições edafoclimáticas do município de São Desidério-Ba.

Politi et al. (2013) relataram que o elevado percentual de concordância entre os métodos utilizados a redução de cinco para três classes do PRA, aumentando assim a probabilidade de diagnoses concordantes. Todavia, Silva et al. (2004) reportaram elevado percentual de concordância (86,3%) entre os métodos DRIS e CND na cultura do eucalipto, mesmo quando foram utilizadas as cinco classes de PRA.

Analisando-se os valores dos índices dos nutrientes individualmente observou-se que os índices médios de P, K, S, Mg, Fe, Zn, Mn e B apresentaram maiores valores pelo método CND, quando consideradas todas as amostras do banco de dados (população inteira). Por outro lado, quando o diagnóstico foi realizado apenas na população de alta produtividade os métodos tiveram desempenho semelhante. Quando se avaliou o desempenho nas amostras da população de baixa produtividade observou-se que o CND exibiu maiores valores de índice para P, K, S, Mg, Fe, Zn, Mn e B, indicando maior sensibilidade desse método para diagnosticar desequilíbrios nutricionais (Tabela 21).

Tabela 21 - Valores médios dos índices DRIS e CND em 265 amostras de abacaxizeiro 'Pérola' coletadas na região dos Tabuleiros costeiros da Paraíba.

	População Inteira (n= 265)			População Alta (n= 96)			População Baixa (n=169)		
	DRIS	CND	p valor	DRIS	CND	p valor	DRIS	CND	p valor
N	-0,03	-0,03	0,99	-0,02	-0,03	1,00	-0,04	-0,04	0,98
P	0,02	0,03	0,89	0,00	0,01	1,00	0,03	0,05	0,87
K	0,09	0,12	0,62	0,00	0,01	1,00	0,14	0,19	0,57
S	0,03	0,05	0,76	0,01	0,02	1,00	0,04	0,07	0,70
Ca	-0,02	-0,02	0,92	0,00	0,01	1,00	-0,04	-0,03	0,90
Mg	0,01	0,02	0,84	-0,01	0,00	1,00	0,01	0,03	0,80
Cu	0,04	0,04	0,98	-0,01	-0,01	1,00	0,07	0,06	0,97
Fe	-0,04	-0,05	0,91	0,00	0,00	1,00	-0,06	-0,07	0,89
Zn	-0,14	-0,18	0,70	0,00	0,00	1,00	-0,22	-0,27	0,64
Mn	0,03	0,04	0,85	0,01	0,02	1,00	0,04	0,06	0,80
B	0,02	0,03	0,85	0,01	0,01	1,00	0,03	0,05	0,81

FONTE: RODRIGUES, João (2020); não significativo ($p > 0,05$) pelo teste t de Student.

Apesar disso, não houve diferenças significativas ($P > 0,05$), em qualquer das populações para os valores médios dos índices dos nutrientes avaliados pelos dois métodos (Tabela 21). Esse resultado se deve aos valores muito baixos dos índices de cada nutriente, indicando que o desbalanço nutricional encontrado foi muito pequeno, o que dificulta a obtenção de diferenças significativas entre os métodos.

Em síntese os resultados indicam que os métodos DRIS e CND apresentam resultados semelhantes quando se trata de identificar qual nutriente está desequilibrado, seja por deficiência ou por excesso. Contudo, os métodos diferem quando o objetivo é identificar o nível de desequilíbrio para os nutrientes avaliados; Assim, em valores absolutos, o método CND apresentou, índices superiores para os nutrientes P, K, S, Mg, Fe, Zn, Mn e B, e nos demais nutrientes observaram-se valores iguais para os índices.

4.4 DRIS – QUALIDADE

4. 4. 1 Estabelecimento das Normas

Nesse procedimento, o banco de dados foi dividido conforme a variável selecionada, usando a média acrescida da metade do desvio padrão do banco de cada variável selecionada; assim, foram estabelecidos os seguintes pontos de corte: 1523 g para peso do fruto; 22,40 para a relação SS/AT e 27,56 kgf para firmeza. Deste modo, as amostras que apresentaram valores superiores aos mencionados

fizeram parte da população de alta qualidade (população de referência), as demais amostras ficaram na população de baixa qualidade.

Os teores médios dos nutrientes de acordo com a variável usada para separar as populações de alta e baixa produtividade estão apresentados na Tabela 22. Observa-se que, quando foi usado o peso do fruto e a relação SS/AT, houve diferenças significativas entre os teores dos nutrientes entre as populações, com exceção dos nutrientes Cu, Fe e B. Por outro lado, quando se utilizou a variável firmeza observou-se que todos os nutrientes avaliados apresentaram diferenças significativas entre as populações de alta e baixa qualidade (Tabela 22).

Tabela 22 - Teores foliares de macro e micronutrientes associadas as variáveis peso do fruto, ratio e firmeza para separar as populações de alta e baixa produtividade.

Média	População						----- g -----	----- kgf -----			
	Alta		Baixa		Alta					Baixa	
	PF	PF	SS/AT	SS/AT	Firmeza	Firmeza					
N	12,21	14,29	**	12,68	14,22	**	15,67	12,87	**		
P	1,51	1,20	**	1,46	1,20	**	0,95	1,43	**		
K	40,56	37,32	**	39,60	37,51	**	34,78	39,72	**		
S	1,34	1,10	**	1,30	1,10	**	0,86	1,31	**		
Ca	3,31	2,67	**	3,26	2,65	**	1,91	3,27	**		
Mg	1,92	1,69	**	1,89	1,69	**	1,43	1,90	**		
Cu	2,71	2,41	ns	2,37	2,53	ns	2,17	2,63	**		
Fe	45,18	49,49	ns	44,35	50,10	ns	58,23	43,74	**		
Zn	6,14	9,30	**	7,15	9,08	**	11,60	7,04	**		
Mn	160,12	143,18	**	156,73	143,52	**	121,07	159,94	**		
B	31,44	27,50	**	29,55	28,04	**	25,45	29,93	**		

FONTE: RODRIGUES, João (2020). PF: peso do fruto; SS/AT: relação sólidos solúveis/acidez titulável; ns: não significativo; e **: significativo a 1 %, pelo teste t de Student.

Os resultados obtidos indicam que os teores foliares influenciaram a variação observada nas variáveis relacionadas à qualidade das infrutescências do abacaxizeiro 'Pérola', ressaltando a importância da nutrição mineral equilibrada para

a obtenção de frutos com características físico-químicas adequadas (VÁSQUEZ-JIMÉNEZ e BARTHOLOMEW, 2018).

Tabela 23 - Média (\bar{x}) e desvio-padrão (s) das relações log-transformadas dos nutrientes em amostras foliares, obtidas da subpopulação de referência para as variáveis Produtividade (PROD), relação sólidos solúveis/acidez titulável (SS/AT), peso do fruto (PF) e firmeza (FIR).

	N/	P	K	S	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn	B
PROD	\bar{x}	1,0	-0,4	1,1	0,7	0,8	0,8	-0,5	0,1	-1,0	-0,3
	s	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
SS/AT	\bar{x}	1,0	-0,5	1,0	0,6	0,8	0,9	-0,5	0,3	-1,1	-0,4
	s	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1
PF	\bar{x}	0,9	-0,5	1,0	0,6	0,8	0,8	-0,5	0,3	-1,1	-0,4
	s	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1
FIR	\bar{x}	1,2	-0,3	1,3	0,9	1,0	0,9	-0,6	0,1	-0,9	-0,2
	s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	P/	N	K	S	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn	B
PROD	\bar{x}	-1,0	-1,4	0,1	-0,3	-0,1	-0,2	-1,5	-0,9	-1,9	-1,3
	s	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4	0,3	0,1	0,1
SS/AT	\bar{x}	-1,0	-1,4	0,0	-0,3	-0,1	-0,1	-1,5	-0,7	-2,0	-1,3
	s	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,3	0,3	0,1	0,1
PF	\bar{x}	-0,9	-1,4	0,0	-0,3	-0,1	-0,1	-1,4	-0,6	-2,0	-1,3
	s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1
FIR	\bar{x}	-1,2	-1,6	0,0	-0,3	-0,2	-0,4	-1,8	-1,1	-2,1	-1,4
	s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	K/	N	P	S	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn	B
PROD	\bar{x}	0,4	1,4	1,5	1,0	1,2	1,2	-0,1	0,4	-0,6	0,1
	s	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,4	0,2	0,1	0,1
SS/AT	\bar{x}	0,5	1,4	1,5	1,1	1,3	1,4	0,0	0,8	-0,6	0,1
	s	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1
PF	\bar{x}	0,5	1,4	1,5	1,1	1,3	1,3	0,0	0,9	-0,6	0,1
	s	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1
FIR	\bar{x}	0,3	1,6	1,6	1,3	1,4	1,2	-0,2	0,5	-0,5	0,1
	s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	S/	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn	B
PROD	\bar{x}	-1,1	-0,1	-1,5	-0,5	-0,3	-0,3	-1,6	-1,1	-2,1	-1,4
	s	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4	0,3	0,1	0,1
SS/AT	\bar{x}	-1,0	0,0	-1,5	-0,4	-0,2	-0,1	-1,5	-0,7	-2,1	-1,4

	s	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,3	0,3	0,1	0,1
PF	\bar{x}	-1,0	0,0	-1,5	-0,4	-0,2	-0,2	-1,5	-0,6	-2,1	-1,4
	s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1
FIR	\bar{x}	-1,3	0,0	-1,6	-0,4	-0,2	-0,4	-1,8	-1,1	-2,1	-1,5
	s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Ca/	N	P	K	S	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn	B
PROD	\bar{x}	-0,7	0,3	-1,0	0,5	0,2	0,2	-1,2	-0,6	-1,6	-1,0
	s	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,4	0,4	0,3	0,1	0,2
SS/AT	\bar{x}	-0,6	0,3	-1,1	0,4	0,2	0,2	-1,1	-0,3	-1,7	-1,0
	s	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,5	0,3	0,3	0,1	0,1
PF	\bar{x}	-0,6	0,3	-1,1	0,4	0,2	0,2	-1,1	-0,2	-1,7	-1,0
	s	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,4	0,3	0,3	0,1	0,1
FIR	\bar{x}	-0,9	0,3	-1,3	0,4	0,1	-0,1	-1,5	-0,8	-1,8	-1,1
	s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Mg/	N	P	K	S	Ca	Cu	Fe	Zn	Mn	B
PROD	\bar{x}	-0,8	0,1	-1,2	0,3	-0,2	0,0	-1,3	-0,8	-1,8	-1,2
	s	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4	0,3	0,1	0,1
SS/AT	\bar{x}	-0,8	0,1	-1,3	0,2	-0,2	0,0	-1,3	-0,5	-1,9	-1,2
	s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,3	0,3	0,1	0,1
PF	\bar{x}	-0,8	0,1	-1,3	0,2	-0,2	0,0	-1,3	-0,5	-1,9	-1,2
	s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1
FIR	\bar{x}	-1,0	0,2	-1,4	0,2	-0,1	-0,2	-1,6	-0,9	-1,9	-1,2
	s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1
	Cu/	N	P	K	S	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	B
PROD	\bar{x}	-0,8	0,2	-1,2	0,3	-0,2	0,0	-1,3	-0,8	-1,8	-1,1
	s	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3
SS/AT	\bar{x}	-0,9	0,1	-1,4	0,1	-0,2	0,0	-1,4	-0,6	-1,9	-1,2
	s	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4
PF	\bar{x}	-0,8	0,1	-1,3	0,2	-0,2	0,0	-1,3	-0,5	-1,9	-1,2
	s	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4
FIR	\bar{x}	-0,9	0,4	-1,2	0,4	0,1	0,2	-1,4	-0,7	-1,7	-1,1
	s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Fe/	N	P	K	S	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	B
PROD	\bar{x}	0,5	1,5	0,1	1,6	1,2	1,3	1,3	0,6	-0,5	0,2
	s	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4
SS/AT	\bar{x}	0,5	1,5	0,0	1,5	1,1	1,3	1,4	0,8	-0,6	0,1

	s	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,5	0,2	0,3	0,3
PF	\bar{x}	0,5	1,4	0,0	1,5	1,1	1,3	1,3	0,8	-0,6	0,1
	s	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3	0,2	0,3
FIR	\bar{x}	0,6	1,8	0,2	1,8	1,5	1,6	1,4	0,7	-0,3	0,4
		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
	Zn /	N	P	K	S	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	B
PROD	\bar{x}	-0,1	0,9	-0,4	1,1	0,6	0,8	0,8	-0,6	-1,0	-0,4
	s	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
SS/AT	\bar{x}	-0,3	0,7	-0,8	0,7	0,3	0,5	0,6	-0,8	-1,4	-0,7
	s	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,3
PF	\bar{x}	-0,3	0,6	-0,9	0,6	0,2	0,5	0,5	-0,8	-1,4	-0,7
	s	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2
FIR	\bar{x}	-0,1	1,1	-0,5	1,1	0,8	0,9	0,7	-0,7	-1,0	-0,3
		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Mn /	N	P	K	S	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	B
PROD	\bar{x}	1,0	1,9	0,6	2,1	1,6	1,8	1,8	0,5	1,2	0,6
	s	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4	0,3	0,1
SS/AT	\bar{x}	1,1	2,0	0,6	2,1	1,7	1,9	1,9	0,6	1,4	0,7
	s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,3	0,3	0,1
PF	\bar{x}	1,1	2,0	0,6	2,1	1,7	1,9	1,9	0,6	1,4	0,7
	s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,2	0,2	0,1
FIR	\bar{x}	0,9	2,1	0,5	2,1	1,8	1,9	1,7	0,3	1,0	0,7
	s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	B /	N	P	K	S	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn
PROD	\bar{x}	0,3	1,3	-0,1	1,4	1,0	1,2	1,1	-0,2	0,4	-0,6
	s	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,4	0,2	0,1
SS/AT	\bar{x}	0,4	1,3	-0,1	1,4	1,0	1,2	1,2	-0,1	0,7	-0,7
	s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,3	0,3	0,1
PF	\bar{x}	0,4	1,3	-0,1	1,4	1,0	1,2	1,2	-0,1	0,7	-0,7
	s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,3	0,2	0,1
FIR	\bar{x}	0,2	1,4	-0,1	1,5	1,1	1,2	1,1	-0,4	0,3	-0,7
	s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

FONTE: RODRIGUES, João (2020).

Avaliando-se a média das relações dos nutrientes de cada variável analisada (Tabela 23), observou-se que nas relações envolvendo o N, a firmeza foi a variável

que apresentou as maiores diferenças, principalmente nas relações N/P e N/S, indicando a necessidade de teores mais elevados de N, para a obtenção de infrutescências mais firmes é necessário que os teores foliares de nitrogênio estejam mais elevados. O equilíbrio entre essas relações é muito importante, tendo em vista que o sinergismo entre N e P, Pois a maior oferta de N aumenta a absorção de P, principalmente quando o N é fornecido na forma amoniacal (PRADO, 2008), quanto a relação N/S é importante salientar que ambos os nutrientes fazem parte da composição de aminoácidos e proteínas, e que teores elevados de N sem quantidades adequadas de S reduzem a síntese de proteínas, devido a redução no metabolismo do N no interior da planta (MARSCHNER, 2012).

Nas relações envolvendo o P foi constatou-se que a variável firmeza apresentou os menores valores das relações, principalmente a relação P/Fe (Tabela 23). Isso indica que frutos de maior firmeza estiveram associados a maiores teores foliares de Fe, possivelmente devido ao ferro participar da síntese da clorofila (TAIZ et al., 2017); Além disso, as relações P/S, P/Ca e P/Mg pouco diferiram entre as variáveis, indicando que as mesmas podem ser usadas como valores de referência, independente da variável do fruto que se deseja maximizar.

Nas relações envolvendo o K verificou-se que as variáveis peso do fruto e ratio apresentaram relações K/Zn superiores aos valores observados para as variáveis produtividade e firmeza corroborando ao papel do K na fotossíntese e no transporte de açúcares para o fruto (TAIZ et al., 2017). A menor relação K/Zn foi observada para a variável produtividade, indicando a necessidade de maior quantidade de Zn para obtenção de maiores produtividades. Na planta, Zn ativa a ribulose 1,5-difosfato carboxilase presente nos cloroplastos, a qual, afeta diretamente a taxa fotossintética, e, conseqüentemente na produtividade (PRADO, 2008; MARSCHNER, 2012).

Para as relações envolvendo o S a firmeza apresentou as maiores diferenças, com destaque para as relações S/N e S/Fe, sugerindo teores foliares de Fe e N mais elevados associados a maior firmeza. A firmeza também apresentou maiores diferenças para as relações que envolvem o Ca, principalmente a relação Ca/N. Isto indica frutos mais firmes apresentaram maiores teores de N, o que pode estar relacionado novamente com o teor de clorofila da casca, devido a participação do N

na molécula de clorofila da casca (MARSCHNER, 2012), Novamente, percebe-se que os frutos mais firmes apresentavam menor avanço no grau de maturação.

Nas relações envolvendo o Mg as maiores diferenças foram encontradas para a relação Mg/Fe, tendo a variável firmeza apresentado o menor valor para essa relação. O equilíbrio entre Mg e Fe é fundamental tendo em vista que ambos participam da biossíntese da clorofila, influencia na taxa fotossintética da planta e no desenvolvimento da cultura (PRADO, 2008).

Com relação as relações envolvendo o Cu verificaram-se maiores diferenças para as relações Cu/P e Cu/Ca para a variável firmeza. O balanço entre os teores de Cu com os demais nutrientes tem efeito direto na qualidade das infrutescências, tendo em vista que o Cu faz o transporte de elétrons entre os fotossistemas I e II, além de atuar na ativação da carboxilase de ribulose di fosfato, responsável pela entrada de CO₂ em composto orgânico (PRADO, 2008, TAIZ et al., 2017).

Nas relações envolvendo o Fe observou-se que a variável firmeza apresentou valores mais elevados para as relações Fe/P, Fe/S, Fe/Ca, Fe/Mg e Fe/Mn. Revelando maior demanda de Fe pelo abacaxizeiro para obtenção de frutos mais firmes. O ferro é o micronutriente mais exigido pelo abacaxizeiro, atuando em processos importantes como a síntese de clorofila, influenciando na fotossíntese e síntese de proteínas (TAIZ et al., 2017; MAIA et al, 2020). Ademais, deficiências de Fe resultam em frutos de tamanho reduzido, dureza e rachaduras entre os frutinhos (VÁSQUEZ- JIMENEZ e BARTHOLOMEW, 2018).

No que se refere ao Zn as relações Zn/P e Zn/Ca para a variável firmeza apresentaram os valores mais elevados (Tabela 23). O equilíbrio entre os teores foliares de Zn e P é de grande importância devido a interação entre esses nutrientes, pois em condições de desbalanço ocorrem reações de precipitação nos vasos condutores, reduzindo a quantidade de Zn na parte aérea da planta (PRADO, 2008).

. Nas relações envolvendo o Mn, não houve diferenças entre as relações que promoveram frutos mais pesados e maior ratio, indicando semelhança no balanço nutricional para maximizar peso do fruto e ratio. Contudo as relações Mn/Fe e Mn/Zn para a firmeza apresentaram menores valores em comparação às demais variáveis, indicando maior exigência desses micronutrientes para a obtenção de frutos de maior firmeza.

Para o B as maiores diferenças foram também encontradas para a variável firmeza, tendo as relações B/Fe e B/Zn apresentando os menores valores; ademais, não houve diferenças das relações nos valores das relações de B com os demais nutrientes que promoveram maiores valores de peso do fruto e SS/AT (Tabela 23).

De maneira geral, a firmeza do fruto apresentou balanço nutricional diferente das demais variáveis avaliadas, sugerindo que para obtenção de frutos com maior firmeza é necessário um manejo nutricional diferente daquele destinado a obtenção de frutos com maior peso e maiores valores de ratio (SS/AT). Tais informações são de grande utilidade para a cadeia produtiva do abacaxizeiro, tendo em vista que a firmeza confere aos frutos maior resistência ao manuseio, transporte para longas distâncias e maior durabilidade nas prateleiras.

Ademais, os valores das relações que maximizam o peso do fruto são semelhantes aos valores que maximizam o valor da ratio; para alguns nutrientes, entretanto, esses valores são idênticos como no caso das relações que envolveram Ca, Mg, Mn e B com os demais nutrientes envolvidos no balanço nutricional (Tabela 23).

Em resumo os resultados obtidos fornecem informações mais detalhadas sobre o relacionamento entre balanço nutricional e atributos de qualidade dos frutos; assim, os valores de referência estabelecidos neste trabalho possibilitam ajustar o manejo da adubação de acordo com as características do fruto que se deseja maximizar visando atender a demanda exigida pelos diferentes mercados consumidores.

4. 4. 2 Nível crítico e Faixas de Suficiência

Analisando os níveis críticos (NC) e as faixas de suficiência (SF) obtidas pela metodologia DRIS, foi observado que houveram diferenças entre valores de referência considerados ótimos para cada variável utilizada para selecionar as populações (Tabela 24 e 25). Isso é um indicativo de que cada parâmetro relacionado com a qualidade do fruto possui um balanço nutricional específico.

Tabela 24 - Níveis críticos foliares (NC) e faixas de suficiência (FS) para macronutrientes no abacaxizeiro 'Pérola', para as variáveis peso do fruto, ratio e firmeza, obtidos pelo método DRIS.

Variável		VALORES DE REFERÊNCIA					
		N	P	K	S	Ca	Mg
		----- g kg ⁻¹ -----					
PF	NC	11,6	1,5	37,5	1,3	3,1	2,0
	FS	9,7-13,5	1,2-1,7	33,7-41,3	1,0-1,5	2,3-3,8	1,7-2,3
SS/AT	NC	12,3	1,5	38,6	1,2	3,0	1,9
	FS	10,4-14,2	1,2-1,7	34,8-42,5	1,0-1,4	2,3-3,8	1,6-2,2
Firmeza	NC	16,1	0,9	35,5	0,8	1,9	1,4
	FS	14,3-18,0	0,7-1,2	31,6-39,3	0,6-1,1	1,1-2,7	1,1-1,7

FONTE: RODRIGUES, João (2020). PF: Peso do fruto; SS/AT: Relação sólidos solúveis / acidez titulável

Tabela 25 - Níveis críticos foliares (NC) e faixas de suficiência (FS) para micronutrientes no abacaxizeiro 'Pérola', para as variáveis peso do fruto, ratio e firmeza, obtidos pelo método DRIS.

Variável		VALORES DE REFERÊNCIA				
		Cu	Fe	Zn	Mn	B
		-----mg kg ⁻¹ -----				
PF	NC	2,0	36,4	5,7	143,7	29,6
	FS	0,8-3,2	7,9-64,8	3,5-7,9	119,2-168,2	25,2-33,9
SS/AT	NC	1,8	34,5	6,7	145,5	27,6
	FS	0,7-3,0	6,0-62,9	4,3-8,9	120,9-169,9	23,19-31,97
Firmeza	NC	2,23	62,62	11,57	119,89	25,87
	FS	1,08-3,38	34,16-91,08	9,32-13,82	95,41-144,37	21,48-30,26

FONTE: RODRIGUES, João (2020). PF: Peso do fruto; SS/AT: Relação sólidos solúveis / acidez titulável

A variável firmeza apresentou os maiores níveis críticos para os nutrientes N, Cu, Fe e Zn (Tabela 24). Por outro lado, os maiores NCs de Cu, Fe e Zn são um indicativo da importância dos micronutrientes na obtenção de frutos mais firmes e resistentes ao manuseio e transporte a longas distâncias, questão normalmente negligenciada no manejo nutricional da cultura.

Os maiores valores de NCs para os nutrientes P, S, Ca e Mg foram observados para a variável peso do fruto (Tabela 24). O P é exigido em maior quantidade pelo abacaxizeiro na época da indução floral (VASQUES-JIMENEZ E BARTHOLOMEW, 2018); O P participa da fotossíntese, e da síntese de ATP, integrar nucleotídeos, e atuar na multiplicação e divisão celular, o que influencia, conseqüentemente, o tamanho e o peso dos frutos (PRADO, 2008).

O S é constituinte de aminoácidos e proteínas, está diretamente envolvido no metabolismo de N, o qual tem grande influência no peso do fruto; ademais, o S faz parte da ferredoxina, proteína que atua nas reações de oxirredução na fotossíntese (PRADO, 2008). Cunha et al. (2019) relatou que sob deficiência de S o abacaxizeiro 'Vitória' produziu frutos de menor peso.

O Ca faz parte da parede celular, sendo essencial na estrutura e funcionamento das membranas de várias organelas, regulando a absorção adequada de outros nutrientes; Por outro lado, o Mg atua na ativação de várias enzimas importantes no metabolismo vegetal, faz parte da molécula da clorofila, além de atuar no metabolismo energético da planta, através da formação de pontes com as moléculas de ATP (MARSCHNER, 2012), o que, auxilia na formação e desenvolvimento do fruto do abacaxizeiro.

O maior valor de nível crítico de K foi observado na variável SS/AT, o que se deve ao mesmo influenciar nos teores de sólidos solúveis (SS) e acidez titulável (AT) do fruto (VASQUEZ-JIMENES E BARTHOLOMEW, 2003); o K atua na formação e auxilia o transporte de açúcares da folha para o fruto, além de participar na ativação e controle da atividade da enzima rubisco, fundamental nos processos de assimilação de carbono pela planta (MARSCHNER, 2012).

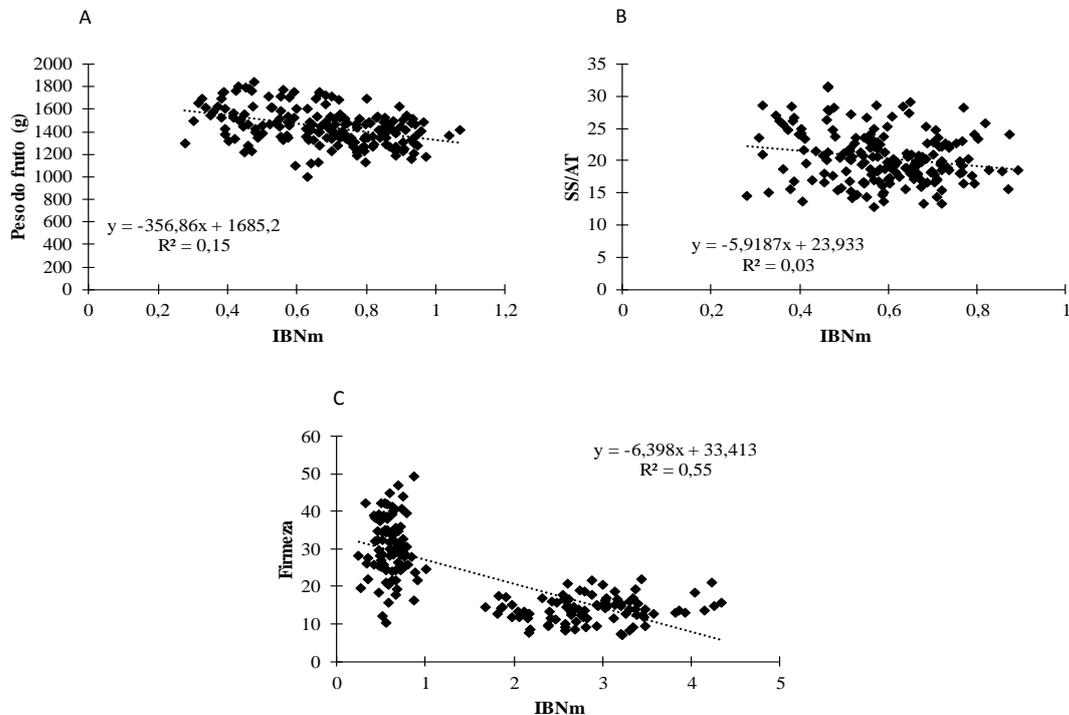
O maior nível crítico de Mn para a variável peso do fruto está relacionado com a importância do Mn na fotossíntese. E na assimilação do carbono na planta (TAIZ et al., 2017); além disso, o Mn participa da síntese de proteínas e da ativação de enzimas como a redutase do nitrito, envolvida diretamente no metabolismo do N (MALAVOLTA, 2006).

O maior valor de NC para o nutriente B foi observado para a variável peso do fruto, pode estar relacionado ao papel do B na síntese da parede celular, e nos processos de divisão e alongamento celular (PRADO, 2008), os quais influenciaram o tamanho e, conseqüentemente, o peso do fruto, fato reportado para o abacaxizeiro 'Vitória' por Cunha et al. (2019) em condições de deficiência de B.

Os resultados obtidos demonstram novamente, que a exigência nutricional do abacaxizeiro varia de acordo com o atributo de qualidade da infrutescência que se pretende maximizar. Deste modo, esses resultados fornecem subsídios valiosos para a implementação de estratégias de manejo nutricional da cultura visando atender as exigências do mercado consumidor.

Analisando a relação entre o índice de balanço nutricional médio (IBNm) e as variáveis de qualidade (Figura 15) observaram baixos valores de coeficiente de determinação (R^2). Para o modelo que relacionou o IBNm com o peso do fruto o valor de R^2 foi de 0,15, indicando que apenas 15 % da variação nos valores do peso do fruto se deveu a fatores nutricionais.

Figura 14 - Relação entre o índice do balanço nutricional médio (IBNm) e as variáveis de qualidade peso do fruto (A), SS/AT (B) e firmeza (C).



FONTE: RODRIGUES, João (2020).

A variável SS/AT não se relacionou com o balanço nutricional da planta ($R^2 = 0,03$). Indicando nessa variável possível influência de fatores de ordem não nutricional, pois de acordo com Vásquez-Jiménez e Bartholomew (2018) fatores climáticos (temperatura, radiação solar etc) exercem grande influência nas quantidades de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e, conseqüentemente, na relação SS/AT dos frutos do abacaxizeiro. Resultados semelhantes foram reportados por Suszek et al. (2017) ao relacionarem IBNm e relação SS/AT de frutos de laranja no Paraná.

Por outro lado, a variável firmeza apresentou melhor relacionamento com o IBNm, indicando que 55% da variação dos valores de firmeza esteve relacionada com fatores nutricionais. Vale salientar, entretanto, que todas as amostras que compuseram a população de referência desta variável foram oriundas do ensaio realizado no município de Itapororoca, no qual se aplicaram maiores doses de N (1,2

- 22,8 g planta⁻¹) Além disso, o teor foliar médio de N na população de alta (Tabela) foi significativamente superior em relação ao da população de baixa produtividade. De acordo com Vásquez-Jiménez e Bartholomew (2018), doses elevadas de N aumentaram a espessura da casca, o que contribui para maiores valores de firmeza.

Assim, embora tenha sido padronizado o estágio de maturação dos frutos na colheita é possível que os frutos do ensaio de Itapororoca, colhidos em abacaxizeiros com maior acúmulo de Ne com coloração da casca esverdeada, tiveram o amarelecimento da casca retardado, resultado em maiores valores de firmeza.

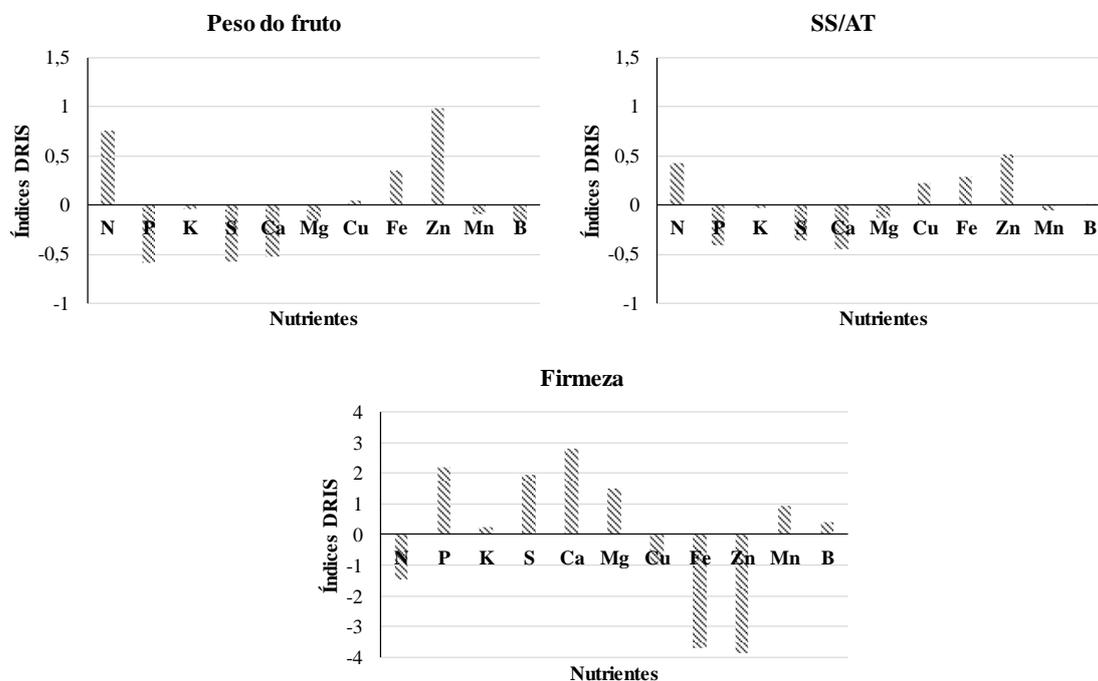
4. 4. 3 Diagnóstico nutricional

Analisando a ordem de limitação nutricional em função das variáveis de qualidade observou-se que P, S e Ca por deficiência. A deficiência de P pode ser atribuída ao excesso de N, devido a competição entre os ânions nitrato e fosfato pelos sítios de absorção da planta; além disso, o excesso de Zn pode ter contribuído para a deficiência do P, através da formação de precipitados de P e Zn nos vasos condutores, reduzindo o transporte de P até a parte aérea (PRADO, 2008). O P faz parte dos processos de transferência de energia (ATP) na planta, estrutura dos ésteres fosfóricos, fosfolipídios da membrana plasmática, além de fazer parte da estrutura dos nucleotídeos, atuando em processos de multiplicação e divisão celular (TAIZ et al., 2017).

Além do nitrogênio e Zn por excesso foram os nutrientes que mais limitaram o peso do fruto (Figura 16).

Além disso, o N foi o segundo nutriente que por excesso mais limitou o peso do fruto (Figura 16), esse comportamento é atípico ao encontrado na literatura para o abacaxizeiro, pois geralmente doses elevadas de N tem demonstrado aumentar o peso do fruto (SOSSA et al., 2017; CUNHA et al., 2019).

Figura 15 - Ordem de limitação para os nutrientes N, P, K, S, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn, Mn e B, a partir da população de baixa qualidade, segundo metodologia DRIS, para o abacaxizeiro 'Pérola'



FONTE: RODRIGUES, João (2020).

A deficiência de S pode estar relacionada com a deficiência de P, pois o metabolismo do S depende do suprimento adequados de P na planta, uma vez que os processos de redução e incorporação do S a compostos, como aminoácidos e proteínas, exigem elevado consumo de ATP (PRADO, 2008). Ademais, o S faz parte da ferredoxina, proteína que atua no processo de oxirredução na fotossíntese; deste modo, em condições de deficiência de S o processo fotossintético é reduzido, com conseqüente redução no peso do fruto, esse efeito foi reportado por Cunha et al. (2019) no abacaxizeiro 'Vitória' em casa de vegetação. O excesso de N e Zn pode estar relacionado com as doses utilizadas neste trabalho, as quais podem terem sido acima da demanda da planta em alguns tratamentos.

No que se refere a relação SS/AT observou-se que o excesso de N e Zn foram os nutrientes que mais limitaram essa variável por excesso, enquanto que Ca e P foram os nutrientes que mais limitaram a relação SS/AT por deficiência (Figura 16).

A redução da relação SS/AT com o excesso de N pode ser atribuído ao fato que em excesso de N na planta, parte dos esqueletos de carbono obtidos na fotossíntese que seria direcionada para a formação de açúcares no fruto, é desviada para ser usada no metabolismo de N (FOYER et al., 2011). Deste modo, ocorre redução nos valores dos sólidos solúveis, e por consequência redução nos valores da relação SS/AT. Comportamento semelhante foi observado por Omotoso e Akinrinde (2013) e Dantas et al. (2015) para o abacaxizeiro 'Vitória', e por Agbangba et al. (2016) para o abacaxizeiro 'Smooth Cayenne'.

Conforme anteriormente mencionado a deficiência de P pode estar relacionada com o excesso de N e Zn, promovendo respectivamente competição entre os ânions nitrato e fosfato pelos sítios de absorção, e redução do transporte de P até a parte aérea, devido formação de precipitados entre esses dois nutrientes (PRADO, 2008). Dessa forma, em condições de deficiência de P, nutriente componente de vários açúcares na planta, incluindo trioses e frutose 1,6 bifosfato, os quais são compostos intermediários da biossíntese da sacarose (TAIZ et al., 2017), há redução no teor de SS e conseqüentemente na relação SS/AT.

A deficiência de Ca pode estar relacionada com as doses elevadas de K aplicadas nos tratamentos utilizados neste trabalho, em que a competição entre os íons K^+ reduziram a absorção de Ca^{2+} , comportamento semelhante foi relatado por Oliveira et al. (2021), que avaliaram o estado nutricional na cultura da Batata utilizando o método DRIS, em que os autores observaram deficiência de Cálcio nos tratamentos que receberam doses elevadas de potássio.

Com relação a firmeza do fruto verificou-se que Zn, Fe e N por deficiência, e Ca, P e S por excesso foram os nutrientes que mais limitaram essa variável (Figura 16).

As deficiências de Zn e Fe possivelmente estão relacionadas com o excesso de cálcio e magnésio, os quais teriam reduzido a disponibilidade desses micronutrientes em função da elevação do pH do solo (ABREU et al., 2007). Além disso, a deficiência de Zn pode estar associada a uma inibição não competitiva provocada pelo Mg (PRADO, 2008); o excesso de P também pode ter influenciado a deficiência de zinco, através da precipitação de P e Zn nos vasos condutores da

planta, reduzindo o transporte de Zn para parte aérea (PRADO, 2008; MAIA et al., 2020). Deficiências de Zn, devido ao excesso de P também foi reportada por López-Montoya et al. (2018) para o abacaxizeiro 'MD-2', cultivado nas condições edafoclimáticas da Colômbia.

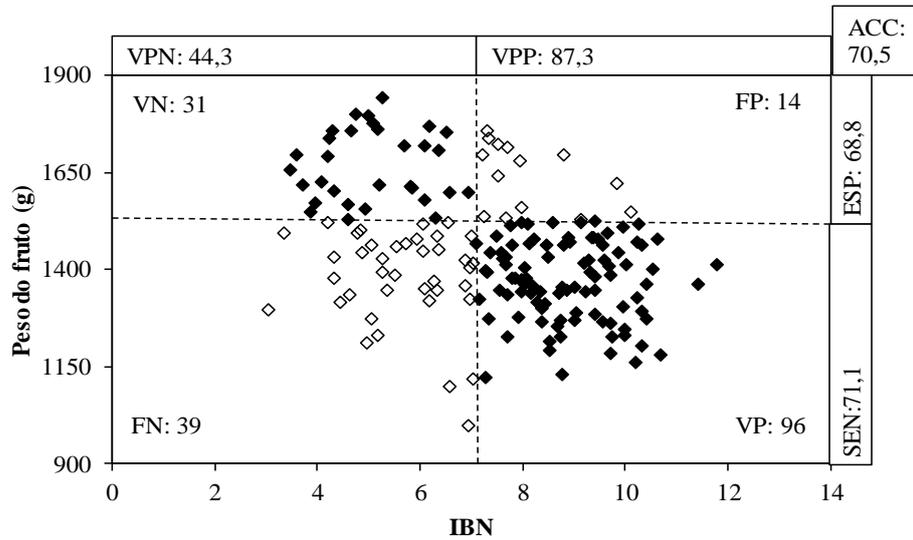
A deficiência de N pode ter sido provocada pelo excesso de P, o qual teria desencadeado a competição entre os ânions fosfato e nitrato pelos sítios de absorção da planta (PRADO, 2008). Comportamento semelhante foi observado por Lopez-Montoya no abacaxizeiro 'MD2' ao avaliarem doses elevadas de P em ensaio de adubação realizado na Colômbia.

Os resultados encontrados demonstram o quão complexo e dinâmico é o abacaxizeiro, particularmente quando se trata de atributos de qualidade. Nesse sentido, o DRIS-Qualidade constitui uma ferramenta útil e promissora para monitorar o estado nutricional e auxiliar no manejo da cultura, visando potencializar os diferentes critérios de qualidade exigidos pelo mercado consumidor.

4. 4. 4 Validação das normas

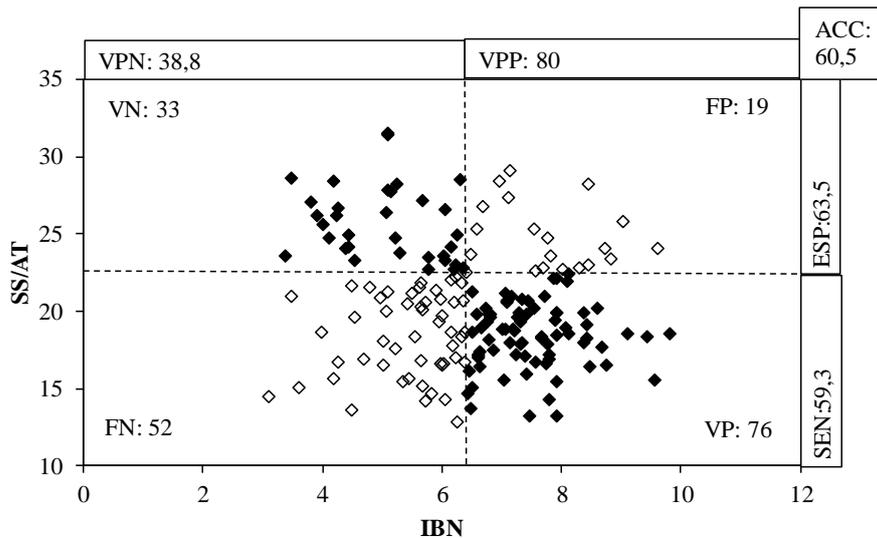
Com relação à validação dos resultados obtidos pela metodologia DRIS, os valores gerados entre os índices DRIS e as variáveis relacionadas à qualidade do fruto, conforme o método Cate-Nelson apresentaram um DRIS (ponto crítico) no valor de 7,1; 6,6 e 18,5 para as variáveis peso, relação SS/AT e a firmeza, respectivamente. Esses valores que corresponderam a maior SQ do conjunto amostral foi usado para separar os quadrantes no eixo x; os valores do peso do fruto, da relação SS/AT e da firmeza usados como ponto de separação no eixo y foi de 1522 g, 22,5 e 27,6 kgf, respectivamente (Figuras 17, 18 e 19).

Figura 16 - Particionamento Cate-Nelson para a relação entre os índices IBN e a variável peso do fruto. Para o abacaxizeiro ‘Pérola’ cultivado na região de Tabuleiros Costeiros da Paraíba. VPN: valor preditivo negativo; VPP: valor preditivo positivo; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade; ACC: acurácia.



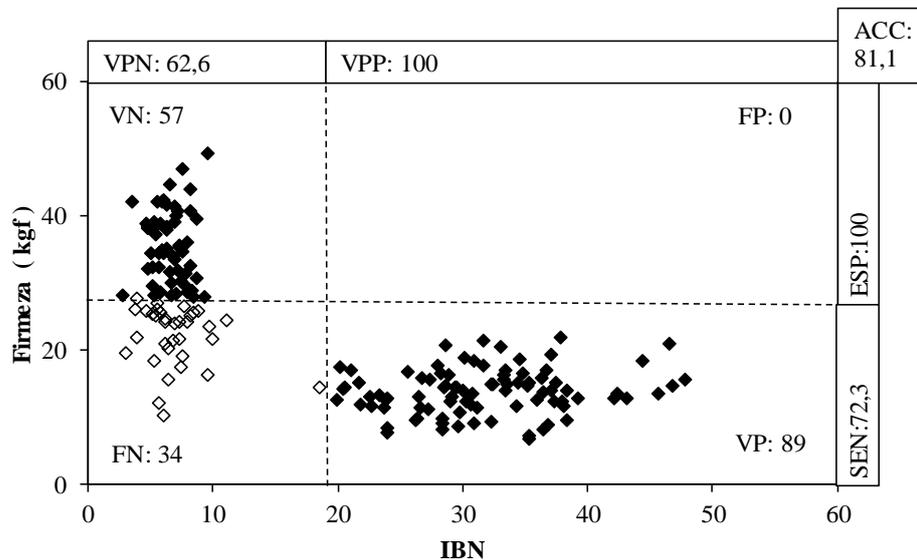
FONTE: RODRIGUES, João (2020).

Figura 17 - Particionamento Cate-Nelson para a relação entre os índices IBN e a variável SS/AT. Para o abacaxizeiro ‘Pérola’ cultivado na região de Tabuleiros Costeiros da Paraíba. VPN: valor preditivo negativo; VPP: valor preditivo positivo; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade; ACC: acurácia



FONTE: RODRIGUES, João (2020).

Figura 18 - Particionamento Cate-Nelson para a relação entre os índices IBN e a variável firmeza. Para o abacaxizeiro 'Pérola' cultivado na região de Tabuleiros Costeiros da Paraíba. VPN: valor preditivo negativo; VPP: valor preditivo positivo; SEN: sensibilidade; ESP: especificidade; ACC: acurácia



FONTE: RODRIGUES, João (2020).

Para o banco de dados utilizado (180 amostras), o método Cate-Nelson revelou acurácia de 70,5; 60,5 e 81,1% para as variáveis peso do fruto, relação SS/AT e firmeza, respectivamente, informações sobre valores de acurácia para atributos de qualidade ainda são escassos na literatura, Marchand et al. (2013) acurácia de 58%, usando a partição de Cate-Nelson e a variável produtividade para a cultura do cranberry; Deus et al. (2018) obtiveram 71,7 % de acurácia para a cultura da banana 'Prata' irrigada nas condições edafoclimáticas do município de Missão Velha-CE, usando a partição de Cate-Nelson. Assim, é possível afirmar que os valores de acurácia obtidos neste trabalho são compatíveis com os valores encontrados na literatura, sugerindo a validade das normas geradas

Os valores de sensibilidade (desequilíbrios nutricionais) foram de 71,1; 59,3 e 72,3 % para as variáveis peso do fruto, relação SS/AT e firmeza, respectivamente.

O valor de acurácia encontrado neste trabalho para a variável SS/AT sugerem que para esse banco de dados essa variável foi a mais influenciada pela variação dos fatores não relacionados com a nutrição, esse comportamento pode estar

atrelado ao fato do banco de dados ser oriundo de três municípios diferentes, deste modo os frutos do abacaxizeiro estiveram sujeitos a grande variação nas condições climáticas como precipitação, temperatura, radiação etc, as quais de acordo com Bartholomew (2018) exercem forte influência nos teores de sólidos solúveis e na acidez titulável dos frutos.

O valor de especificidade foram de 68,8; 63,5 e 100 % para as variáveis peso do fruto, relação SS/AT e firmeza, respectivamente; estes valores representam o percentual de amostras em que as plantas que obtiveram frutos de alta qualidade estavam nutricionalmente equilibradas.

Os valores preditivos negativo (VPN) foram de 44,3; 38,8 e 62,6 % para as variáveis peso do fruto, relação SS/AT e firmeza, respectivamente; esses valores indicam a probabilidade de amostras diagnosticadas como equilibradas nutricionalmente apresentarem frutos de alta qualidade e juntamente com os valores de acurácia e sensibilidade identificam o potencial de deficiência de nutrientes e indicam que alguns outros fatores podem limitar os atributos de qualidade dos frutos.

Já os valores preditivos positivo (VPP) foram de 87,3; 80 e 100 % para o peso do fruto, relação SS/AT e firmeza, respectivamente; estes valores indicam a probabilidade de uma amostra diagnosticada como desequilibrada apresentar baixa qualidade do fruto e juntamente com a especificidade detectam potenciais problemas relacionados ao consumo de luxo ou contaminação (PARENT et al., 2013).

No quadrante verdadeiro negativo (VN), constituído pela população de referência, foram alocadas 31; 33 e 57 amostras para as variáveis peso do fruto, relação SS/AT e firmeza, respectivamente. Para o quadrante falso positivo (FP), representado por amostras de plantas em consumo de luxo ou com alta eficiência no uso dos nutrientes, foram alocadas 14; 19 e 0 amostras para as variáveis peso do fruto, relação SS/AT e firmeza, respectivamente, as amostras identificadas no quadrante FP podem estar relacionadas com as amostras que receberam as doses mais elevadas dos nutrientes avaliados.

No quadrante falso negativo (FN), referente a amostras que tiveram sua qualidade influenciada por fatores não nutricionais, alocaram-se 39; 52 e 34 amostras, para as variáveis peso do fruto, relação SS/AT e firmeza,

respectivamente. No quadrante verdadeiro positivo (VP) foram alocadas 96; 76 e 89 amostras para as variáveis peso do fruto, relação SS/AT e firmeza, respectivamente; esse quadrante representa amostras desequilibradas, em que pelo menos um nutriente está limitando a produção, seja por excesso ou falta.

4.5 CND QUALIDADE

4.5.1 Estabelecimento das normas

De acordo com os resultados da análise de componentes principais, foram retidos dois componentes, observando-se que os componentes principais (CP) 1 e 2 explicaram 58,3 e 17,4% da variância do banco de dados, respectivamente, e explicam 75,7% da variância acumulada do banco de dados (Tabela 26). Para o componente principal 1 a variável relação SS/AT apresentou maior correlação com os valores dos scores desse componente, enquanto no componente principal 2 a maior correlação com os valores dos scores para esse componente principal foi observada para a variável peso do fruto (PF). Deste modo, as variáveis relação SS/AT e o PF foram selecionadas para compor o índice de qualidade para a obtenção das normas CND-Qualidade.

Tabela 26 - Resultados da análise de componentes principais para as variáveis relacionadas à qualidade das infrutescências de abacaxizeiro 'Perola' cultivado nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba.

Variáveis	CP1	Correlação	CP2	Correlação
Firmeza	-0,39	-0,67**	0,40	0,37**
SS	0,46	0,79**	-0,06	ns
AT	-0,48	-0,82**	0,03	ns
SS/AT	0,56	0,96**	-0,07	ns
PF	0,27	0,47**	0,90	0,84**
Autovalores		2,91		0,87
% de variância		58,31		17,41
Variância acumulada		58,31		75,73

FONTE: RODRIGUES, João (2020).

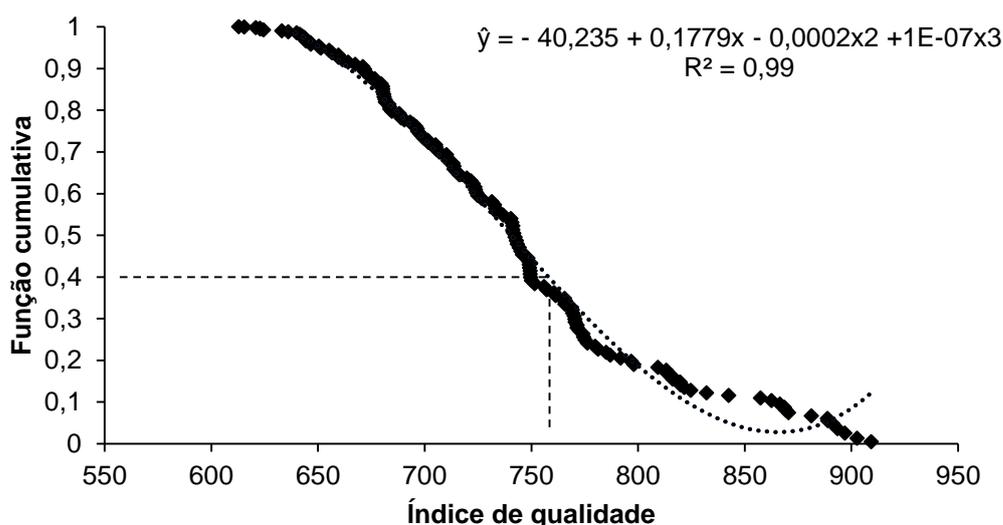
Das 180 amostras que compuseram o banco de dados original, foram excluídas nove delas por apresentarem peso do fruto inferior a 1,2 kg (frutos de maior valor comercial). Em seguida, após submeter as amostras restantes à distância de Mahalanobis, observou-se que havia 13 amostras discrepantes

(*outliers*), as quais foram também excluídas. Assim, o banco de dados foi constituído por 158 amostras, nas quais a normalidade foi constatada pelo teste de Shapiro-Wilk ($p \geq 0,05$).

A diagnose da composição nutricional das 158 amostras apresentou função cumulativa, com ponto médio de inflexão no eixo do índice de qualidade de 757,14, sendo esse valor adotado como base para a divisão das subpopulações de alta (> 757,14) e baixa qualidade (< 757,14) (Figura 20).

Da população avaliada (158 amostras), 52 amostras (32,9 %) foram classificadas como de alta qualidade (população de referência), sendo as 106 amostras restantes (67,08 %) classificadas como subpopulação de baixa qualidade.

Figura 19 - Ponto de inflexão obtido na relação entre o índice de qualidade e a função cumulativa da variância, com base em dados de 158 amostras foliares de abacaxizeiro 'Pérola'.



FONTE: RODRIGUES, João (2020).

O coeficiente de variação (CV) dos nutrientes avaliados apresentou valores de 12,1 a 63,4 % na população de alta qualidade, e de 14,8 a 54,6% na população de baixa qualidade. Todavia, em ambas as subpopulações observou-se que para os macronutrientes o Ca apresentou o maior valor de CV, enquanto que para os micronutrientes o maior CV foi observado para o Cu (Tabela 27).

Tabela 27- Resumo da estatística descritiva para as variáveis de qualidade e teores de macro e micronutrientes em 158 amostras de abacaxizeiro 'Pérola' na região dos Tabuleiros Costeiros Paraibanos

	População de alta qualidade					População de baixa qualidade				
	\bar{x}	Mín	Máx	s	CV%	\bar{x}	Mín	Máx	s	CV%
	g kg ⁻¹									
N	12,8	9,5	19,8	2,2	17,3	14,5	9,6	21,2	2,5	17,0
P	1,4	0,8	2,0	0,3	21,8	1,2	0,7	2,5	0,3	28,2
K	39,8	27,6	48,8	4,8	12,1	37,4	25,2	48,8	5,5	14,8
S	1,3	0,7	1,8	0,3	19,9	1,1	0,7	1,7	0,3	27,9
Ca	3,2	1,5	5,6	1,0	33,1	2,5	1,5	5,4	1,0	40,8
Mg	1,9	1,3	3,1	0,5	25,4	1,7	1,2	3,1	0,4	25,9
	mg kg ⁻¹									
Cu	2,8	0,2	6,5	1,8	63,4	2,4	0,1	7,0	1,3	54,6
Fe	44,9	14,2	102,2	18,7	41,7	50,2	13,7	95,8	15,3	30,5
Zn	6,7	2,6	13,1	3,0	44,5	9,7	3,4	15,7	3,1	31,6
Mn	158,0	83,0	241,4	35,6	22,6	140,7	76,1	244,3	33,3	23,7
B	30,3	17,9	53,0	6,8	22,3	27,4	18,8	57,5	6,2	22,5
	%									
SS	14,3	10,7	16,0	1,0	7,1	14,5	9,5	16,8	1,3	9,3
	g 100g ⁻¹ ácido cítrico									
AT	0,6	0,5	1,1	0,1	18,6	0,8	0,5	1,0	0,1	12,8
SS/AT	23,0	13,3	31,5	4,5	19,4	19,4	13,2	28,4	3,1	15,9
	g									
PF	1615,3	1494,6	1841,7	100,1	6,2	1371,4	1203,2	1493,3	78,3	5,7

\bar{x} : média; S: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Mín: mínimo; Máx: máximo; SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável; SS/AT: relação sólidos solúveis/ acidez titulável; PF: peso do fruto. FONTE: RODRIGUES, João (2020).

A variação nos teores foliares dos nutrientes encontrados neste trabalho pode ser atribuída às diferenças das condições edafoclimáticas dos locais dos ensaios, às doses dos nutrientes aplicadas em cada ensaio e as interações nutricionais ocorridas.

Com relação ao Ca, o elevado CV pode estar relacionado ao efeito das doses de calcário aplicadas (0,4 a 3,0 Mg ha⁻¹), as quais podem ter contribuído para a variação na oferta de Ca durante o crescimento da planta (ABREU et al., 2007). Elevados coeficientes de variação para o Ca (32,6%) também foram relatados por Teixeira et al. (2009), para o abacaxizeiro 'Smooth Cayenne' em ensaios de adubação envolvendo calagem.

O elevado CV do Cu pode ser atribuído também às doses de calcário aplicadas, as quais teriam elevado o pH do solo e, conseqüentemente, diminuindo a disponibilidade de Cu; além disso, as variações nos teores de Cu no solo e nas

doses de micronutrientes aplicadas podem ter influenciado nos teores foliares, devido às interações com os demais micronutrientes catiônicos (ABREU et al., 2007). Comportamento semelhante foi observado por López-Montoya et al. (2018) para o abacaxizeiro 'MD-2' na Colômbia.

Com relação às variáveis de qualidade, observou-se maior CV para a relação SS/AT e menor para a variável peso do fruto, em ambas as subpopulações. Além disso, o peso médio do fruto foi a variável com maior amplitude entre as subpopulações, sendo observados valores de 1615,3 g na população de alta e de 1371,4 g na população de baixa qualidade (Tabela 27).

Os valores de peso do fruto e sólidos solúveis foram superiores e os de acidez titulável inferiores aos reportados por Andrade et al. (2015) para o abacaxizeiro 'Pérola' adubado com N, P e K no município de Itapororoca. Esse comportamento indica a influência do fator nutricional nas variáveis relacionadas com a qualidade do abacaxizeiro, pois, o mesmo cultivar, produzido nas mesmas condições ambientais, apresentou diferenças nas características físico-químicas em função do manejo nutricional.

Houve diferenças nos teores foliares médios dos nutrientes entre as populações de alta e baixa, para uma mesma variável de qualidade. Contudo, não foram observadas diferenças nos teores médios dos nutrientes entre as variáveis peso do fruto e índice de qualidade indicando semelhanças nos teores que maximizam o peso e a qualidade do fruto (Tabela 28).

Avaliando-se os teores foliares médios das populações, dentro da variável peso do fruto, observou-se que os teores foliares de N, P, K, S, Mg, Zn, Mn e B apresentaram diferenças significativas entre as populações; por outro lado, os teores de Ca, Cu e Fe não diferiram entre as populações.

Tabela 28 - Teores foliares médios de macro e micronutrientes, em função das variáveis PF e IQ nas populações de alta e baixa qualidade.

População	N	P	g kg ⁻¹				mg kg ⁻¹				
			K	S	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn	B
PF (alta)	12,1b	1,5a	42,0a	1,4a	3,3a	2,0a	2,8a	44,0a	5,8b	167,4a	33,3a
PF (baixa)	14,2a	1,2b	37,5b	1,1b	2,6ab	1,7bc	2,4a	49,3a	9,3a	142,2bc	27,4b
IQ (alta)	12,8b	1,4a	39,8ab	1,3a	3,2ab	1,9ab	2,7a	44,9a	6,7b	158,0ab	30,3ab
IQ (baixa)	14,5a	1,2b	37,4b	1,1b	2,5b	1,6c	2,4a	50,2a	9,7a	140,7c	27,4b

PF: peso do fruto; IQ: índice de qualidade; médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). FONTE: RODRIGUES, João (2020).

Para o índice de qualidade (IQ), observou-se que os teores foliares de N, P, S, Mg, Zn e Mn apresentaram diferenças significativas entre as populações de alta e baixa qualidade; por outro lado, os teores foliares K, Ca, Cu, Fe e B não diferiram entre as populações. Esses resultados demonstram que a nutrição da planta exerceu influência tanto no peso do fruto quanto no índice de qualidade tendo em vista que houve diferenças nos teores dos nutrientes entre as populações de alta e baixa para as variáveis peso PF e IQ, exceção feita aos nutrientes Cu e Fe (Tabela 28).

A ausência de diferenças significativas entre os teores nutricionais que maximizaram o peso do fruto e os que maximizaram a qualidade do fruto (Tabela 28) pode ser atribuída ao modo como a variável índice de qualidade foi obtida, pois, tendo em vista que essa variável é composta pelo somatório dos valores das variáveis PF e SS/AT, deste modo, amostras que fazem parte da variável PF também compuseram a variável IQ.

As normas CND foram representadas pela média aritmética e o desvio-padrão das variáveis multinutrientes na população de referência (PARENT & DAFIR, 1992), sendo expressas em valores adimensionais. O maior valor da variável multinutriente foi observado para o macronutriente K, enquanto que o menor valor multinutriente foi observado para o micronutriente Cu (Tabela 29).

Tabela 29 - Normas CND (média e desvio padrão) da população de referência para a qualidade do abacaxizeiro 'Pérola' cultivado na região dos Tabuleiros Costeiros paraibanos.

Variável multinutriente	\bar{x}	s
VN	2,9	0,2
VP	0,7	0,2
VK	4,1	0,1
VS	0,6	0,2
VCa	1,5	0,3
VMg	1,0	0,2
VCu	-5,8	0,7
VFe	-2,8	0,5
VZn	-4,7	0,5
VMn	-1,5	0,2
VB	-3,1	0,2

\bar{x} : média; s: desvio padrão. FONTE: RODRIGUES, João (2020).

Os valores negativos para as normas dos micronutrientes encontrados neste trabalho podem ser explicados pelo fato da metodologia CND trabalhar com todos os nutrientes na mesma unidade; desse modo, geralmente os valores da média geométrica são superiores aos teores foliares dos micronutrientes, resultando em normas com valores negativos. Resultados semelhantes foram também relatados por Wadt e Silva (2020) para a cultura da manga no vale do São Francisco, Labaied et al. (2018) em lavouras comerciais de Citros na Tunísia, além de Dias et al. (2017) em pomares comerciais de laranjeiras 'Pêra' no estado do Amazonas.

Houve diferenças nos valores das variáveis multinutrientes entre as populações de alta e baixa qualidade, com exceção dos nutrientes de K, Cu e Fe. Contudo, não foram observadas diferenças significativas nos valores das variáveis multinutrientes entre peso do fruto e índice de qualidade (Tabela 30). Esses resultados indicam que os teores foliares que maximizam o peso do fruto não diferem daqueles que maximizam o índice de qualidade do fruto.

Analisando-se os valores das variáveis multinutrientes das populações de alta e baixa qualidade para a variável peso do fruto, observou-se que com exceção das variáveis multinutrientes VK, VCu e VFe as demais variáveis multinutrientes apresentaram diferenças significativas entre as populações (Tabela 30).

Tabela 30 - Valores médios das variáveis multinutrientes, em função das variáveis PF e IQ nas populações de alta e baixa qualidade.

População	VN	VP	VK	VS	VCa	VMg	VCu	VFe	VZn	VMn	VB
	----- g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----				
PF (alta)	2,8b	0,7a	4,0a	0,7a	1,5a	1,0a	-5,8a	-2,9b	-4,9b	-1,4a	-3,0a
PF (baixa)	3,0a	0,5b	4,0a	0,4b	1,3b	0,9b	-5,8a	-2,7ab	-4,3a	-1,6b	-3,2b
IQ (alta)	2,9b	0,7a	4,0a	0,6a	1,4a	1,0ab	-5,8a	-2,8ab	-4,7b	-1,5ab	-3,1ab
IQ (baixa)	3,0a	0,5b	4,0a	0,4b	1,2b	0,9b	-5,8a	-2,6a	-4,2a	-1,6b	-3,2b

PF: peso do fruto; IQ: índice de qualidade. FONTE: RODRIGUES, João (2020).

Com relação ao índice de qualidade, observou-se que os valores das variáveis multinutrientes VN, VP, VS, VCa e VZn apresentaram diferenças significativas entre as populações de alta e baixa qualidade, diferentemente das variáveis multinutrientes VK, VMg, VCu, VFe e VB não apresentaram diferenças significativas entre as populações de alta e baixa qualidade. Esses resultados demonstram que a nutrição da planta exerceu influência, tanto no peso do fruto quanto na qualidade do mesmo, exceção feita aos nutrientes K e Cu.

4. 5. 2 Níveis Críticos e Faixas de Suficiência

Com relação aos modelos de regressão estabelecidos entre os índices CND e os teores foliares de cada nutriente (Tabela 31), observou-se que dentre os macronutrientes o Ca apresentou o maior coeficiente de determinação ($R^2 = 0,95$), enquanto que para os micronutrientes o maior valor foi observado para Cu ($R^2 = 0,98$).

Tabela 31- Modelos estatísticos dos índices CND em função de cada nutriente, nível crítico (NC), limite inferior (LI) e limite superior (LS) da faixa de suficiência de macronutrientes e micronutrientes para o abacaxizeiro 'Pérola', obtidos pelo método CND.

Nutriente	Equação	R ²	NC	LI	LS
				g kg ⁻¹	
N	IN = -4,935 + 0,390**x	0,85	12,5	10,9	14,2
P	IP = -4,384 + 3,082**x	0,89	1,4	1,2	1,6
K	IK = -5,917 + 0,151*x	0,65	39,2	35,6	42,8
S	IS = -8,301 + 9,561**x - 2,347**x ²	0,90	1,3	1,0	1,5
Ca	ICa = - 4,280 + 1,842**x - 0,138**x ²	0,95	3,0	2,3	3,7
Mg	IMg = - 5,298 + 3,571**x - 0,385**x ²	0,86	1,9	1,5	2,2
				mg kg ⁻¹	
Cu	ICu = - 0,986 + 1,304**ln(x)	0,98	2,1	1,1	3,1
Fe	IFe = - 3,561 + 0,110**x - 0,0006**x ²	0,96	41,5	30,4	52,6
Zn	IZn = - 3,080 + 0,601**x - 0,017**x ²	0,97	6,3	4,0	8,5
Mn	IMn = - 20,476 + 4,072**ln(x)	0,87	152,5	129,2	175,9
B	IB = - 6,218 + 0,272**x - 0,002**x ²	0,82	23,1	18,8	27,4

**; * = Significativo a 1 e 5 % respectivamente pelo teste F. FONTE: RODRIGUES, João (2020).

Os níveis críticos (NC) dos macronutrientes encontrados neste trabalho pelo método CND-Qualidade diferiram em relação aos NC considerados adequados pela literatura (Tabela 32). As maiores variações foram observadas para N, K e Mg, sendo o valor do N 40 % inferior ao sugerido por Malavolta (1997). Já os valores dos NC de K e Mg foram 229 % superiores e 56 % inferiores, respectivamente, aos valores estabelecidos por Sema et al. (2010) para o abacaxizeiro 'Kew', em lavouras comerciais da Índia.

O valor do NC de Ca foi semelhante aos encontrados na literatura, com exceção daquele reportado por Teixeira et al. (2009) para o abacaxizeiro 'Smooth Cayenne' no estado de São Paulo, o qual foi 25% superior ao encontrado neste trabalho. Os valores dos NC de P e S foram 33 e 35 % inferiores, respectivamente, quando comparados aos valores de NC sugeridos por Malavolta et al. (1997) (Tabela 32).

Tabela 32 - Níveis críticos foliares (NC) e faixas de suficiência (FS) de macronutrientes obtidos pelos métodos CND-Qualidade, CND-Produtividade e disponíveis na literatura para o abacaxizeiro.

Fonte	Método	N	P	K	S	Ca	Mg
----- g kg ⁻¹ -----							
Atual estudo Qualidade	NC	12,5	1,4	39,2	1,3	3,0	1,9
	FS	10,9-14,2	1,2-1,6	35,6-42,8	1,0-1,5	2,3-3,7	1,5-2,2
Atual estudo Produtividade	NC	13,3	1,4	33,4	1,0	2,9	1,8
	FS	11,6-15,0	1,1-1,7	28,4-38,4	0,8-1,2	2,2-3,6	1,5-2,2
Sema et al. (2010)	NC	12,1	1,3	11,9	-	2,7	4,3
	FS	12,1-18,5	1,3-1,8	11,9-16,2	-	2,7-3,5	4,3-5,6
Teixeira et al. (2009)	NC	12,0	0,9	21,4	-	4,0	2,8
	FS	-	-	-	-	-	-
Bataglia e Santos (2001)	NC	15,0	0,8	25,0	-	3,0	4,0
	FS	15-17	0,8-1,2	25-27	-	3,0-4,0	4,0-5,0
Malavolta et al. (1997)	NC	20,0	2,1	25,0	2,0	3,0	4,0
	FS	20-22	2,1-2,3	25-27	2-3	3,0-4,0	4,0-5,0
Angeles et al. (1990)	NC	14,3	1,4	27,7	-	-	-
	FS	-	-	-	-	-	-

FONTE: RODRIGUES, João (2020).

Tabela 33 - Níveis críticos foliares (NC) e faixas de suficiência (FS) de micronutrientes obtidos pelos métodos CND-Qualidade, CND-Produtividade e disponíveis na literatura para o abacaxizeiro.

Fonte	Método	Cu	Fe	Zn	Mn	B
----- mg kg ⁻¹ -----						

Atual estudo Qualidade	NC	2,1	41,5	6,3	152,5	23,1
	FS	1,1-3,1	30,4-52,6	4,0-8,5	129,2-175,9	18,8-27,4
Atual estudo produtividade	NC	2,0	41,3	11,8	119,8	28,6
	FS	0,8-3,2	28,1-54,4	7,1-16,5	92,4-147,2	23,1-34,1
Sema et al. (2010)	NC	7,4	78,4	12,2	41,5	-
	FS	7,4-10,2	78,4-102,5	12,2-15,8	41,5-58,3	-
Bataglia e Santos (2001)	NC	5,0	50,0	30,0	30,0	50,0
	FS	5-10	50-200	30-100	30-100	50-100
Malavolta et al. (1997)	NC	9,0	100,0	10,0	50,0	30,0
	FS	9-12	100-200	10-15	50-200	30-40

FONTE: RODRIGUES, João (2020).

Com relação aos micronutrientes, houve também diferenças entre os NC obtidos pelo método CND-Qualidade e os NC reportados na literatura (Tabela 33). O NC de Mn encontrado neste trabalho foi 401% superior ao reportado por Bataglia & Santos (2001), enquanto que os NC de Zn e B foram 79 e 54 % inferiores, respectivamente, quando comparados aos NC sugeridos pelos mesmos autores. Adicionalmente, os NC de Cu e Fe foram, respectivamente, 77 e 59 % inferiores aos NC sugeridos por Malavolta et al. (1997) (Tabela 33).

As diferenças nos valores dos NC encontrados neste trabalho, em relação aos sugeridos pela literatura resultam da variação de diversos fatores (cultivares métodos de obtenção dos níveis críticos, variação das condições edafoclimáticas, parte da folha analisada etc) (Tabela 32 e 33); todavia, indicam que os teores foliares considerados ótimos para a obtenção da máxima produção diferem daqueles para maximizar a qualidade, pois alguns nutrientes influenciam de forma mais acentuada os atributos de qualidade dos frutos (VÁSQUEZ-JIMÉNEZ & BARTHOLOMEW, 2018).

Deve-se enfatizar, ainda, que a inexistência de normas multivariadas para o abacaxizeiro compromete comparações mais adequadas, visto que os níveis críticos existentes na literatura foram obtidos usando abordagens uni ou bivariadas, o que evidencia a importância dos dados e informações geradas neste trabalho, os quais poderão servir como referência para subsidiar o manejo nutricional da cultura voltado para maximizar a qualidade da produção.

Comparando os valores dos níveis críticos dos macronutrientes gerados neste trabalho para maximizar a qualidade e a produtividade (Tabelas 32 e 33), observou-se que a maior diferença entre os valores foi obtida para o K, sendo o nível crítico de K para maximizar a qualidade 17,4 % superior àquele para maximizar a produtividade (Tabela 32). Isso se deve a importância do K para a qualidade da infrutescência do abacaxizeiro, devido seu papel fundamental na formação e transporte de açúcares na planta, influenciando diretamente no teor de sólidos solúveis e conseqüentemente na relação SS/AT (MARSCHNER, 2012; VÁSQUEZ-JIMÉNEZ & BARTHOLOMEW, 2018).

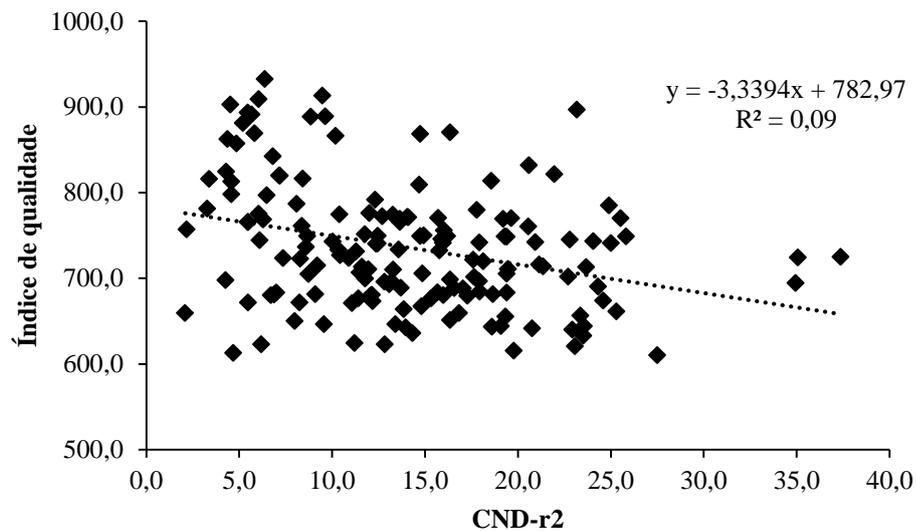
Dentre os micronutrientes, a maior diferença entre os níveis críticos para maximizar a qualidade e a produtividade foi observada para Mn, sendo o nível crítico de Mn para maximizar a qualidade 27,3 % superior ao teor para maximizar a produtividade (Tabela 33). Esse comportamento pode ser atribuído ao papel do Mn na fotossíntese, especificamente na etapa de fotólise da água, o que influencia diretamente na obtenção de esqueletos de carbono pela planta e, conseqüentemente, na formação e acúmulo de açúcares pela mesma (MARSCHNER, 2012).

Os resultados obtidos neste trabalho sugerem que o manejo nutricional do abacaxizeiro deve ser realizado destino da produção, pois observou-se que a obtenção de infrutescências de melhor qualidade implica em exigências nutricionais mais elevadas, principalmente em K que é o nutriente mais exigido pela cultura e do Mn que dentre os micronutrientes é o segundo mais exigido pelo abacaxizeiro (MAIA et al., 2020).

4. 5. 3 Validação das normas

A validação das normas a partir do relacionamento entre o índice de desequilíbrio nutricional médio (CND- r^2) e o índice de qualidade (Figura 21) revelou coeficiente de determinação muito baixo ($R^2 = 0,09$).

Figura 20. Relação entre o índice de qualidade e o índice de desequilíbrio nutricional global (CND-r2) na população de referência, para o abacaxizeiro ‘Pérola’ na região dos tabuleiros Costeiros - PB



FONTE: RODRIGUES, João (2020).

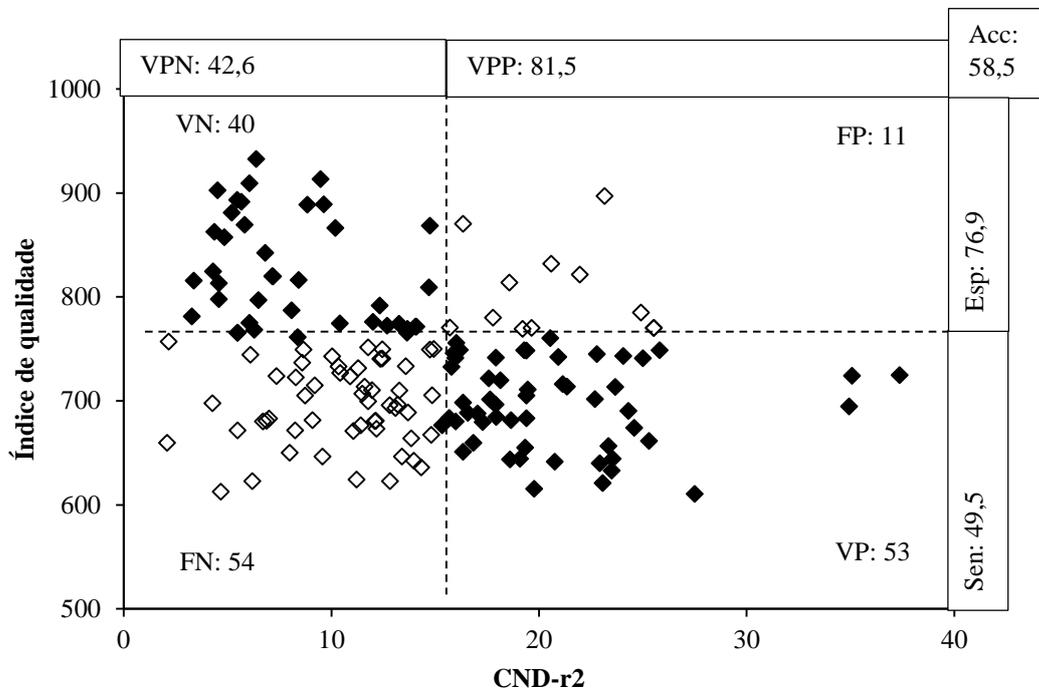
Conforme mencionado anteriormente isso se deve aos baixos valores de R^2 obtidos no modelo estabelecido entre os índices CND dos nutrientes e os índices de qualidade, uma vez que o CND- r^2 consiste no somatório de valores de todos os índices CND. Suszek et al. (2017) também observaram falta de ajuste e baixos valores de coeficiente de determinação nas equações que relacionaram o balanço nutricional e a qualidade dos frutos da laranja no Paraná.

Os baixos valores de R^2 podem estar relacionado, também com o fato de que a variável índice de qualidade é composta pelas variáveis peso do fruto, acidez titulável (AT) e sólidos solúveis (SS), as quais são influenciadas por fatores de ordem nutricional e não nutricional (fatores climáticos, p. ex.) (PAULL & CHEN, 2018).

Sumner & Angeles (1990) observaram elevada variação nas variáveis peso do fruto, SS, AT e relação SS/AT em abacaxizeiros ‘Smooth Cayenne’, ‘Singapore Spanish’ e ‘Sarawak’, mesmo em plantas nutricionalmente equilibradas, devido ao efeito de fatores não nutricionais. Todavia, ressaltaram que existem maiores chances de se obter frutos de melhor qualidade quando o balanço nutricional do abacaxizeiro é adequado.

Com relação à validação das normas obtidas pelo método CND-Qualidade, os valores gerados entre os índices CND- r^2 e o índice de qualidade da população, conforme o método Cate-Nelson, apresentaram CND- r^2 (ponto crítico) de 14,9. Esse valor, correspondente à maior SQ do conjunto amostral, foi utilizado para separar os quadrantes no eixo x; o valor do índice de qualidade usado como ponto de separação no eixo y foi de 760,5 (Figura 22).

Figura 21 - Particionamento Cate-Nelson para a relação entre os índices CND- r^2 e a produtividade, de 158 amostras foliares do abacaxizeiro 'Pérola' cultivado nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba. VPN: valor preditivo negativo; VPP: valor preditivo positivo; Sen: sensibilidade; Esp: especificidade; Acc: acurácia.



FONTE: RODRIGUES, João (2020).

No quadrante verdadeiro negativo (VN) foram alocadas 40 amostras (25,3 % dos dados), as quais representam a população de referência. Para o quadrante falso positivo (FP) foram alocadas 11 amostras, o que corresponde a 7 % do banco de dados e possivelmente, representam plantas que estavam em consumo de luxo e, ou, possuíam alta eficiência no uso dos nutrientes (PARENT et al., 2013).

No quadrante falso negativo (FN) foram alocadas 54 amostras, o que corresponde a 34,2 % dos dados, e representam a influência de fatores não nutricionais na qualidade dos frutos.

No quadrante verdadeiro positivo (VP) foram alocadas 53 amostras, correspondendo a 33,5 % dos dados, as quais representam amostras desequilibradas nutricionalmente, e em que pelo menos um nutriente limitou a qualidade do fruto, seja por excesso ou falta (Figura 23).

Para o banco de dados utilizado (158 amostras), obteve-se pelo método Cate-Nelson acurácia de 58,5 %, sensibilidade de 49,5 %, especificidade de 76,9 %, valor preditivo negativo (VPN) de 42,6 % e valor preditivo positivo (VPP) de 81,5 % (Figura 22).

Os valores de acurácia obtidos neste trabalho (58,5 %) indicam que 93 amostras foram corretamente identificadas como equilibradas ou desequilibradas nutricionalmente, e que nessas amostras a qualidade do fruto foi influenciada por fatores nutricionais. Esse percentual foi idêntico ao reportado por Marchand et al. (2013) para a cultura do cranberry no Canadá; no entanto, foi inferior ao valor de 71,7% reportado por Deus et al. (2018) para a cultura da banana 'Prata' irrigada nas condições edafoclimáticas do município de Missão Velha, Ceará.

O valor de acurácia é influenciado negativamente pelos valores dos quadrantes FN e FP, os quais estão relacionados com plantas influenciadas por fatores não nutricionais e, ou em condições de consumo de luxo, respectivamente. Neste trabalho os valores de FN e FP representam 34,2 e 7% das amostras, respectivamente. Os fatores não nutricionais que possivelmente influenciaram os valores de acurácia foram temperatura, precipitação, luminosidade, fotoperíodo e umidade relativa do ar, os quais exercem forte influência na qualidade dos frutos do abacaxizeiro (MALÉZIEUX & BARTHOLOMEW, 2018); por outro lado, contatou-se consumo de luxo principalmente para o K.

Diante dos resultados obtidos neste trabalho, observa-se que os valores de referência que maximizam a qualidade e produtividade dos frutos do abacaxizeiro, estabelecidos em condições edafoclimáticas específicas para os Tabuleiros Costeiros da Paraíba, constituem informações precisas para o manejo nutricional de forma racional e eficaz da cultura do abacaxizeiro 'Pérola', contribuindo para o avanço da abacaxicultura paraibana.

5. CONCLUSÕES

Os níveis críticos foliares para a produtividade do abacaxizeiro 'Pérola' na região dos Tabuleiros Costeiros Paraibanos, obtidos pela derivação dos índices DRIS para os macronutrientes foram: N: 13,1; P:1,5, K: 31,7; S:1,1; Ca: 3,1; Mg: 2,0 g kg⁻¹ e para os micronutrientes: Cu: 2,2; Fe: 41,7; Zn:11,4; Mn: 160,3; B: 28,0 mg kg⁻¹;

As faixas de suficiência para a produtividade do abacaxizeiro 'Pérola' na região de Tabuleiros Costeiros Paraibanos, obtidos pela derivação dos índices DRIS para os macronutrientes foram: N: 11,3-14,9; P:1,2-1,8; K:26,7-36,0; S:0,9-1,3; Ca: 2,4-3,8; Mg: 1,6-2,3 g kg⁻¹ e para os micronutrientes: Cu: 0,8-3,2; Fe: 16,5-65,7; Zn:6,9-16,3; Mn: 92,6-148,0; B: 22,5-33,5 mg kg⁻¹;

As normas DRIS que maximizam os valores do peso de fruto e relação SS/AT do abacaxizeiro 'Pérola' são semelhantes; Contudo, a firmeza do fruto apresenta balanço nutricional diferente dessas características;

De acordo com a abordagem utilizada para a metodologia DRIS, os valores de referência que maximizam a qualidade das infrutescências do abacaxizeiro 'Perola' diferem dos valores que maximizam a produtividade do mesmo.

Os níveis críticos foliares para o abacaxizeiro 'Pérola' na região dos Tabuleiros Costeiros Paraibanos, obtidos pela derivação dos índices CND para os macronutrientes foram: N: 13,3; P:1,4, K: 33,4; S:1,0; Ca: 2,9; Mg: 1,8 g kg⁻¹ e para os micronutrientes: Cu: 2,0; Fe: 41,3; Zn:11,8; Mn: 119,8; B: 28,6 mg kg⁻¹;

As faixas de suficiência para o abacaxizeiro 'Pérola' na região de Tabuleiros Costeiros Paraibanos, obtidos pelo método CND para os macronutrientes foram: N:11,6-15,0; P:1,1-1,7; K:28,4-38,4; S:0,8-1,2; Ca: 2,2-3,6; Mg: 1,5-2,2 g kg⁻¹ e para os micronutrientes: Cu: 0,8-3,2; Fe: 28,1-54,4; Zn:7,1-16,5; Mn: 92,4-147,2; B: 23,1-34,1 mg kg⁻¹.

Os níveis críticos foliares que promovem a máxima qualidade do abacaxizeiro 'Pérola' na região de Tabuleiros Costeiros Paraibanos, obtidos pela derivação dos índices CND foram: N:12,5; P:1,4, K: 39,2; S:1,3; Ca: 3,0; Mg: 1,9 g kg⁻¹ ; Cu: 2,1; Fe: 41,5; Zn:6,3; Mn: 152,5; B: 23,1 mg kg⁻¹;

As faixas de suficiência para o abacaxizeiro 'Pérola' na região de Tabuleiros Costeiros Paraibanos, obtidos pela metodologia CND foram: N:10,9 -14,2; P:1,2 -1,6; K: 35,6 - 42,8; S: 1,0 -1,5; Ca: 2,3 - 3,7; Mg: 1,5-2,2 g kg⁻¹; Cu: 1,1- 3,1; Fe: 30,4-52,6; Zn: 4,0 - 8,5; Mn: 129,2 -175,9; B: 18,8 – 27,4 mg kg⁻¹.

A validação das normas geradas pelos métodos DRIS e CND produtividade, utilizando a partição de Cate-Nelson, indicou acurácia de 48,1 e 40 %, respectivamente;

A validação das normas para qualidade pela partição de Cate-Nelson indicou que o método DRIS exibiu acurácia de 70,5; 60,5 e 81,1 % para as variáveis peso do fruto, SS/AT e firmeza, respectivamente; pelo método CND obteve-se acurácia de 58,5 para o índice de qualidade;

A avaliação do estado nutricional pelos métodos DRIS e CND apresentaram alto grau de concordância nos diagnósticos, sendo eficientes para identificar desbalanços nutricionais na cultura do abacaxizeiro 'Pérola';

Em ordem decrescente, os nutrientes mais limitantes por deficiência foram Zn, Ca e P pelo método DRIS e P, Zn e Fe pelo método CND.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Cleide Aparecida de; LOPES, Alfredo Scheid; SANTOS, Gláucia Cecília Gabrielli dos. **Micronutrientes**. In: NOVAIS, Roberto Ferreira.; ALVAREZ V., Victor Hugo; BARROS, Nairam Félix de; FONTES, Renildes Lúcio; CANTARUTTI, Reinaldo Bertola; NEVES, Júlio César Lima. Fertilidade do Solo. Viçosa: SBCS, 2007. p.551-594.
- AGBANGBA, Emile. et al. Preliminary DRIS model parameterization to assess pineapple variety 'Perola' nutrient status in Benin (West Africa). **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 6, n. 27, p. 5841–5847, 2011.
- AITCHISON, John. **The statistical analysis of compositional data**. London: Chapman e Hall, 1986. p.139 -177.
- ALI, Mohamed. Nutrient sufficiency ranges in mango using boundary-line approach and compositional nutrient diagnosis norms in El-Salhiya, Egypt. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 49, n. 2, p. 188-201, 2018.
- ALMEIDA, Clovis Oliveira. et al. Peso médio do abacaxi no Brasil: um tema em discussão. **Revista Bahia Agrícola**, Salvador, v. 6, n.3, p.41-46, 2004.
- ALVAREZ V., Victor Hugo. et al. Interpretação dos resultados da análise de solos. In: RIBEIRO, Antonio Carlos; GUIMARÃES, Paulo Tácito; ALVAREZ V., Victor Hugo. (Ed). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.25-32.
- ALVAREZ V., Victor Hugo.; LEITE, Renato Almeida. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculo dos índices DRIS. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 20-25, 1999.
- ALVAREZ V., Victor Hugo; RIBEIRO, Antônio Carlos. Calagem. In: RIBEIRO, Antonio. Carlos; GUIMARÃES, Paulo Tácito; ALVAREZ V. Victor Hugo. (Ed). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação**, Viçosa: CFSEMG, 1999, p.40-60.
- ANDRADE, Maria das Graças Santos. et al. Aspectos da qualidade de infrutescências dos abacaxizeiros “Pérola” e “Vitória”. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 36, n. 1, p. 96-102, 2015.
- ANGELES, D. E; SUMNER, M. E; BARBOUR, N. W. Preliminary nitrogen, phosphorus, and potassium DRIS norms for pineapple. **HortScience**, New Mexico, v. 25, n. 6, p. 652–655, 1990.
- BANGROO, S. A. et al. Diagnosis and recommendation Integrated System (DRIS)-A review. **International Journal of Current Research**, Raipur, v. 10, n.4, p. 84-97, 2010.

BARŁÓG, Przemysław. Diagnosis of sugar beet (*Beta vulgaris* L .) nutrient imbalance by DRIS and CND-clr methods at two stages during early growth. **Journal of Plant Nutrition**, Londres, v. 39, n. 1, p. 1–16, 2016.

BARTHOLOMEW, Duane P. Crop Environment, Plant Growth and Physiology. In: SANEWSKI, Garth M; BARTHOLOMEW, Duane P; PAULL, Robert E. (Ed.). **The pineapple: botany, production and uses**. Glasgow: CABI, 2018. p. 105 – 141.

BATAGLIA, Ondino Cleante et al. Diagnose nutricional do cafeeiro pelo DRIS variando-se a constante de sensibilidade dos nutrientes de acordo com a intensidade de frequência de resposta na produção. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n.3, p. 253-263, 2004.

BATAGLIA, Ondino Cleante; SANTOS, W R dos. Estado nutricional de plantas perenes: avaliação e monitoramento. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v.9, n.6, p. 3-8, 2001.

BEAUFILS, E. Roger. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)**. South Africa: University of Natal, 1973. 132 p. (Soil Science Bulletin, 1).

BENDALY, Labaied Mouna; SERRA, Ademar Pereira; BEN, Mimoun Mehdi. Establishment of nutrients optimal range for nutritional diagnosis of mandarins based on DRIS and CND methods. **Communications in soil science and plant analysis**, Philadelphia, v. 49, n. 20, p. 2557-2570, 2018.

BEVERLY, Reuben. Fertilizer use efficiency: Modified DRIS method for simplified nutrient diagnosis of 'Valencia' oranges. **Journal of plant Nutrition**, Londres, v. 10, n. 9-16, p. 1401-1408, 1987.

CAETANO, Luiz Carlos Santos et al. Efeito da adubação com nitrogênio, fósforo e potássio no desenvolvimento, na produção e na qualidade de frutos do abacaxi 'Vitória'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 883-890, 2013.

CAMACHO, Marcos Antônio et al. Faixas normais de nutrientes pelos métodos ChM, DRIS e CND e Nível Crítico pelo método de distribuição normal reduzida para laranja-pera. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 193-200, 2012.

CANTARUTTI, Reinaldo Bertola et al. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, Roberto Ferreira; ALVAREZ V., Victor Hugo; BARROS, Nairam Félix de; FONTES, Renildes Lúcio; CANTARUTTI, Reinaldo Bertola; NEVES, Júlio César Lima. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007, p.769-850.

COELHO, Ruimário Inácio et al. Estado nutricional e características de crescimento do abacaxizeiro 'Jupi' cultivado em Latossolo Amarelo distrófico em função da adubação com NPK. **Ciências e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1696-1701, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. A participação do abacaxi no desenvolvimento econômico nas regiões produtoras. Brasília: CONAB (Compêndio de Estudos Conab, v.24). 44p. 2020

CRESTE, J. E. Perspectivas do DRIS em culturas de alta produtividade. In: PRADO, R. M et al. **Nutrição de plantas aplicada a sistemas de alta produtividade**. Jaboticabal: Capes/Fundunesp, 2008. p. 83-104.

CUNHA, Jéssica Morais et al. Fruit quality of pineapple 'Vitória' under macronutrients and boron deficiency. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 41, n. 5, p. 1-10, 2019.

CUNHA, Mário Lúcio Pereira et al. Diagnosis of the Nutritional Status of Garlic Crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, n.1, p.1-14, 2016.

DA SILVA, Marcos Antônio Camacho et al. Estabelecimento e validação de normas DRIS para a cultura do algodão no centro-oeste do Brasil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 1, 2009.

DANTAS, Ana Lima et al. Influence of combined sources of nitrogen fertilization on quality of cv. Vitória pineapple. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 10, n. 40, p. 3814-3824, 2015.

DEUS, José Aridiano Lima de et al. Balance design for robust foliar nutrient diagnosis of "Prata" banana (*Musa spp.*). **Scientific Reports**, Londres, v. 8, n. 1, p. 1-7, 2018.

DEZORDI, Luciel Rauni et al. Diagnostic Methods to Assess the Nutritional Status of the Carrot Crop. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, n. 1, p. 1-16, 2016.

DIAS, Jairo Rafael Machado et al. Normal nutrient ranges and nutritional monitoring of "Pêra" orange trees based on the CND method in different fruiting stages. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 52, n. 9, p. 776–785, 2017.

DIAS, Jairo Rafael Machado et al. Normas DRIS multivariadas para avaliação do estado nutricional de laranjeira 'Pera' no estado do Amazonas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 2, p. 251-259, 2013.

DIAS, Jairo Rafael Machado et al. Relações nutricionais log-transformadas para avaliação nutricional de cupuaçuzeiros comerciais. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 40, n. 1, p. 37-42, 2010.

FARNEZI, Múcio Mágnio de Melo et al. Levantamento da qualidade da bebida do café e avaliação do estado nutricional dos cafeeiros do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, através do DRIS. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1191–1198, 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAOSTAT. 2018. Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso: 16/ Mar/ 2020.

FOYER, Christine H; NOCTOR, Graham; HODGES, Michael. Respiration and nitrogen assimilation: targeting mitochondria-associated metabolism as a means to enhance nitrogen use efficiency. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 62, n.4, p. 1467-1482, 2011.

GOMES, Frederico Pimentel. **Curso de Estatística Experimental**, Piracicaba: Livraria Nobel; 1985. 240 p.

GOTT, Roney M. et al. Índices diagnósticos para interpretação de análise foliar do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, p. 1110–1115, 2014.

GUARÇONI, André; VENTURA, José Aires. Adubação N-P-K e o desenvolvimento, produtividade e qualidade dos frutos do abacaxi Gold (MD-2). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n. 4, p.1367-1376, 2011.

HERATH, H. M. I. et al. Effect of pre-harvest calcium fertilizer application on the control of internal browning development during the cold storage of pineapple 'Mauritius' (*Ananas comosus* (L.) Merr.). **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Londres, v. 78, n. 6, p. 762-767, 2003.

HERNÁNDEZ-CARABALLO, Edwin A. et al. Estimation of preliminary reference values for macro and micronutrients in 'Valencia' orange in Venezuela, by means of the compositional nutrient diagnosis system. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 49, n. 15, p. 1943-1952, 2018.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro: LSPA, 2018. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/cgi-bin/prtabl>. Acesso em: 20 de abril 2020.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4ª Ed. Edição digital: São Paulo, v.1, 371p. 2005.

JONES, C. A. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analyses. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 12, n. 8, p. 785-794, 1981.

JUNIOR, Roberto dos Anjos Reis; MONNERAT, Pedro Henrique. Validação de normas DRIS para a cultura da cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.3, p.379-385, 2003.

KHIARI, Lotfi; PARENT, Léon-Etienne; TREMBLAY, Nicolas. The phosphorus compositional nutrient diagnosis range for potato. **Agronomy Journal**, Medison, v.93, p. 815-819, 2001.

KURIHARA, Carlos Hissao; MAEDA, Shizou; ALVAREZ V., Victor Hugo.

Interpretação de resultados de análise foliar. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste-Documentos (INFOTECA-E), 2005.

LANGENEGGER, W; SMITH, B.L. An evaluation of the DRIS system as applied to pineapple leaf analysis, In: A.R.Ferguson, R.L. Bielecki, and I.B. Ferguson (eds). **Proc. 8th Intl. Colloq. Plant Anal. & Fert. Problems**, Auckland, New Zealand. p. 263-273, 1978.

LIMA NETO, Antonio João de et al. Nutrient Diagnosis of Fertigated “Prata” and “Cavendish” Banana (*Musa spp.*) at Plot-Scale. **Plants**, Basel, v. 9, n. 11, p. 1467, 2020.

LOBO, Maria Gloria; YAHIA, Elhadi. Biology and postharvest physiology of pineapple. In: LOBO, Maria Gloria; PAUL, Robert E. **Handbook of Pineapple Technology: Production, Postharvest Science, Processing and Nutrition.** Wiley Blackwell, Londres, Hoboken, 2017. p. 39-61.

LÓPEZ-MONTOYA, Jennifer et al. Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) para piña (*Ananas comosus*), variedad Oro Miel (MD-2). **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, Bogotá, v. 12, n. 2, p. 319–328, 2018.

MAIA, Victor Martins et al. Diagnosis and management of nutrient constraints in pineapple. In: SRIVASTAVA, A. K; HU, Chenxiao. **Fruit Crops.** Elsevier, Amsterdã 2020. p. 739-760.

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

MALAVOLTA, Eurípedes. VITTI, Godofredo; OLIVEIRA, Sebastião. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2ª ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MARCHAND, Sébastien et al. Nutrient signature of Quebec (Canada) cranberry (*Vaccinium macrocarpon* Ait.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 1, p. 292-304, 2013.

MARQUES, Leandro Spegiorin et al. Produtividade e qualidade de abacaxizeiro cv. Smooth Cayenne, cultivado com aplicação de doses e parcelamentos do nitrogênio, em Guaraçá-SP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n.3, p. 1004-1014, 2011.

MARSCHNER, Petra. **Marschner's mineral nutrition of higher plants.** 3ª Ed. Adelaide: Elsevier; 2012. 649 p.

MARTÍN, Ignacio et al. Comparison of DOP and DRIS methods for leaf nutritional diagnosis of *Vitis vinifera* L., Cv. Tempranillo. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 47, n. 3, p. 375-386, 2016.

MARTINS, Laesio Pereira et al. Conservação pós-colheita de abacaxi ‘Pérola’

produzido em sistemas convencional e integrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 3, p. 695-703, 2012.

MASCARENHAS, João de Castro et al. **Diagnóstico do município de Itapororoca, estado da Paraíba**. Recife: CPRM/PRODEEM; 2005b.

MASCARENHAS, João de Castro et al. **Diagnóstico do município de Sapé, estado da Paraíba**. Recife: CPRM/PRODEEM; 2005a.

MASCARENHAS, João de Castro et al. **Diagnóstico do município de Santa Rita, estado da Paraíba**. Recife: CPRM/PRODEEM; 2005c.

MATOS, Gilson Sergio Bastos de et al. Compositional nutrient diagnosis in two oil palm genetic materials. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aracaju, v. 10, n. 6, p. 1–5, 2019.

MATOS, Gilson Sergio Bastos de et al. DRIS calculation methods for evaluating the nutritional status of oil palm in the Eastern Amazon. **Journal of Plant Nutrition**, Londres, v. 41, n. 10, p. 1240-1251, 2018.

MOURAO FILHO, Francisco de Assis Alves. DRIS: concepts and applications on nutritional diagnosis in fruit crops. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 5, p. 550-560, 2004.

NACHTIGALL, Gilmar Ribeiro; DECHEN, Antonio Roque. DRIS como método diagnóstico de nutrição mineral de plantas. In: PRADO, Renato Melo et al **Nutrição de plantas: diagnose foliar em hortaliças**. Jaboticabal: FCAV, FAPESP, 2010. p. 185-198.

NACHTIGALL, Gilmar Ribeiro; DECHEN, Antonio Roque. Testing and validation of DRIS for apple tree. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 3, p. 288-294, June 2007.

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**; 1977.p 19-38.

NOWAKI, Rodrigo Hiyoshi Dalmazzo. **Padrões para avaliação do estado nutricional do tomateiro para indústria**. 2017. 123 f. Tese (Doutorado em agronomia) - Universidade Estadual Paulista – UNESP. Jaboticabal, 2017.

OLIVEIRA, Arlene et al. Adubação N-K no abacaxizeiro ‘BRS Imperial’– II- Efeito no solo, na nutrição da planta, e na produção. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.37, n.3, p.764-773. 2015.

OLIVEIRA, Arlene et al. Qualidade do Abacaxizeiro “BRS Imperial” em função de doses de N-K. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 37, n. 2, p. 497–506, 2015.

OLIVEIRA, E. F et al. **Abacaxi: sistema de cultivo para o Tabuleiro paraibano**. João Pessoa: EMEPA, 2002. 38p.

OLIVEIRA, Roberta Camargos et al. Fertilizer application levels in potato crops and the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). **Agronomy**, Basel, v. 11, n. 1, p. 51, 2021.

OMOTOSO, Solomon et al. Effect of nitrogen fertilizer on some growth, yield and fruit quality parameters in pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.) plant at Ado-Ekiti Southwestern, Nigeria. **International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science**, Sapele, v. 3, n. 1, p. 11-16, 2013.

PARENT, Leon Etienne et al. Diagnosis of nutrient composition in fruit crops: Major developments. In: SRIVASTAVA, A. K; CHENGXIAO Hu. (Org.). **FRUIT CROPS: Diagnosis and Management of Nutrient Constraints**. Amsterdã, Elsevier, 2020, v. 1, p. 145-156.

PARENT, Leon Etienne. Diagnosis of the nutrient compositional space of fruit crops. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 321-334, 2011.

PARENT, Leon Etienne.; CAMBOURIS, A.N; MUHAWENIMANA, A. Multivariate diagnosis of nutrient imbalance in potato crops. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 1432-1438, 1994.

PARENT, Léon Etienne; DAFIR, M. A theoretical concept of compositionnal nutrient diagnosis. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, n. 2, p. 239–242, 1992.

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

PARENT, Serge-Étienne et al. Plant ionome diagnosis using sound balances: case study with mango (*Mangifera Indica*). **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 4, n.15, p.1-12, 2013.

PARTELLI, Fábio Luiz et al. Avaliação nutricional de feijoeiro irrigado pelos métodos CND, DRIS e faixas de suficiência. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 858–866, 2014.

PAULL, Robert E; CHEN, Ching-Cheng. Postharvest Physiology, Handling and Storage of Pineapple In: BARTHOLOMEW, Duane P; PAUL, Robert E; SANEWSKI, Garth M. eds. **The Pineapple: Botany, production and uses**. Honolulu, CAB, 2018. p.295-325.

PEGORARO, Rodinei Facco et al. Macronutrient uptake, accumulation and export by the irrigated 'Vitória' pineapple plant. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 896 - 904, 2014.

PEREIRA, Natanael Santiago et al. Obtenção de normas DRIS preliminares e faixas de suficiência para bananeira do subgrupo prata na região do Baixo Jaguaribe, CE, Brasil. **Revista Agroambiente**, Boa Vista, v. 9, n. 3, p. 347-351, 2015.

POLITI, Lucas et al. Estado nutricional de mangueiras determinado pelos métodos DRIS e CND. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.1, p. 11-18, 2012.

PRADO, Renato Melo. **Nutrição de plantas**. São Paulo: UNESP 2008. 407 p.

PRADO, Renato Melo; ROZANE, Danilo Eduardo. Leaf analysis as diagnostic tool for balanced fertilization in tropical fruits. In: SRIVASTAVA, A.K; CHENGXIAO Hu. (Org.). **FRUIT CROPS: Diagnosis and Management of Nutrient Constraints**. Amsterdam: Elsevier; 2020, v. 1, p. 131-144.

PY, Claude; LACOEUILHE, Jean-Jospeh; TEISSON, Claude. *The Pineapple, Cultivation and Uses*. Paris. G-P Maisonneuve e Larose; 1987. 558 p.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R.Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (2019).

RAMOS, Maria José Mota et al. Qualidade sensorial dos frutos do abacaxizeiro 'Imperial' cultivado em deficiência de macronutrientes e de boro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.32, n.3, p.692-699, 2010.

RAMOS, Maria José Mota; DA ROCHA PINHO, Leandro Glaydson. Physical and quality characteristics of Jupi pineapple fruits on macronutrient and boron deficiency. **Natural Resources**, Aracaju, n. 5, p. 359–366, 2014.

RIOS, Elica Santos Carvalho et al. Quality of 'Imperial' pineapple infructescence in function of nitrogen and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 13, n. 1, p. 1-8, 2018.

RÍOS-PLAZA, J. L. et al. Normas nutrimentales preliminares para un cultivar criollo de *Capsicum annuum* con base en la técnica de diagnóstico de nutrimento compuesto. **ITEA Informacion Tecnica Economica Agraria**, La Rioja, v. 113, n. 3, p. 216-227, 2017.

RODRIGUES, Alesandra Alves. **Desenvolvimento e teores foliares de nutrientes dos cultivares de abacaxi Pérola, Smooth Cayenne e Imperial nas condições edafoclimáticas do Estado da Paraíba**. 2005. 102f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2005.

RODRIGUES, Alessandra Alves et al. Nutrição mineral e produção de abacaxizeiro cv. Pérola em função das relações K/N. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.35, n.2, p.625-633, 2013.

ROZANE, Danilo Eduardo et al. Compositional Nutrient Diagnosis (CND) applied to grapevines grown in subtropical climate region. **Horticulturae**, Basel, v. 6, n. 3, p. 56, 2020.

ROZANE, Danilo Eduardo; PARENT, Léon Etienne; NATALE, William. Evolution of the predictive criteria for the tropical fruit tree nutritional status. **Científica**, Jaboticabal, v.44, n.1, p.102-112, 2016.

SALDANHA, Eduardo César Medeiros et al. Normas DRIS para a cultura do coqueiro híbrido no estado do Pará. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 4, p. 99-109, 2015.

SANTOS, Eduardo Maciel Haitzmann; ROZANE, Danilo Eduardo. DRIS standard and normal ranges of foliar nutrients for the culture of 'Thompson' atemoya. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 4, p. 1-7, 2017.

SANTOS, Elcio Ferreira dos et al. Faixas normais de nutrientes em cana-de-açúcar pelos métodos ChM, DRIS e CND e nível crítico pela distribuição normal reduzida. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1651-1658, 2013.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: EMBRAPA, 2018. 356 p.

SELVARAJAH, S. et al. Effect of pre-harvest calcium treatment on post-harvest quality of pineapple. **Tropical Agricultural Research**, Kandy, v.10, p. 214-224, 1988.

SEMA, Akali et al. Dris nutrient norms for pineapple on Alfisols of India. **Journal of Plant Nutrition**, London, v. 33, n. 9, p. 1384–1399, 2010.

SERRA, Ademar Pereira 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.

SIEBENEICHLER, Susana Cristine et al. Composição mineral da folha em abacaxizeiro: efeito da parte da folha analisada. **Revista Brasileira Fruticultura** Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 194-198, 2002.

SILVA, Alexandre Paiva da et al. Sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxizeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.5, p.1269-1280, 2009.

SILVA, André Luiz Pereira da et al. Resposta do abacaxizeiro 'Vitória' a doses de nitrogênio em solos de Tabuleiros Costeiros da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.2, p.447-456, 2012.

SILVA, Gilmara Pereira da et al. Accuracy of nutritional diagnostics for phosphorus considering five standards by the method of diagnosing nutritional composition in sugarcane. **Journal of Plant Nutrition**, London, 43:10, 1485-1497, 2020.

SILVA, Gualter Guenther Costa da et al. Avaliação da universalidade das normas DRIS, M-DRIS e CND. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 755 - 761, 2005.

SILVA, Gualter Guenther Costa da et al. Nutritional diagnosis for eucalypt by DRIS, M-DRIS, and CND. **Scientia Agricola**, São Paulo, v. 61, n. 5, p. 266–273, 2004.

SILVA, Gualter Guenther Costa et al. **Diagnose nutricional do eucalipto pelo DRIS, M-DRIS e CND**. (Tese de Mestrado), Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 132p.

SILVA, Matheus Guimarães. **Avaliação e calibração de extratores de fósforo disponível em solos da zona abacaxicultora paraibana**, 2018. 61f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2018.

SOSSA, Elvire Line et al. Residues Management Practices and Nitrogen-Potassium Fertilization Influence on the quality of Pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merrill) Sugarloaf Fruit for Exportation and Local Consumption. **Agronomy**, Basel, v. 7, n. 2, p. 26, 2017.

SOULEYMANE, Coulibaly et al. Effects of potassium fertilization for pineapple on internal browning of fruit in post-harvest conservation. **Journal of Agriculture and Crops**, Rahim Yar Khan, v. 5, n. 6, p. 100–108, 2019.

SOUZA, Bruna Aparecida Madureira de. **Marcha de absorção de nutrientes e crescimento do abacaxizeiro ‘Vitória’ irrigado**. 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2012.

SOUZA, Cleber de; SILVA, Bernardo da; AZEVEDO, Pedro de. Crescimento e rendimento do abacaxizeiro nas condições climáticas dos Tabuleiros Costeiros do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p.134-141, 2007.

SOUZA, Henrique Antunes de et al. Critical levels and sufficiency ranges for leaf nutrient diagnosis by two methods in soybean grown in the Northeast of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 44, p. 1-14, 2020.

SOUZA, Henrique Antunes de et al. Normas preliminares DRIS e faixas de suficiência para goiabeira “Paluma”. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 1, p. 282–291, 2013.

SUMNER, M. E; ANGELES, D. E. Nutrient balance and the yield and quality of pineapple. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Londres, v. 21, n. 13, p. 1431–1436, 1990.

SUSZEK, Grazieli et al. Use of yield and total soluble solids/total titratable acidity ratio in orange on group definition for standard DRIS. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 39, n. 4, p. 1–9, 2017.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. São Paulo: Artmed Editora, 2017. 858p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J.

Análise de solo, planta e outros materiais. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

TEIXEIRA, Luiz Antônio Junqueira et al. Preliminary DRIS Norms for “Smooth Cayenne” Pineapple and Derivation of Critical Levels of Leaf Nutrient Concentrations. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 822, p. 131–138, 2009.

TEIXEIRA, Luiz Antonio Junqueira et al. Normas DRIS e níveis críticos de nutrientes para videira ‘Niagara Rosada’ cultivada na região de Jundiaí-SP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 37, n. 1, p. 247-255, 2015.

TEIXEIRA, Luiz Antonio Junqueira et al. Potassium fertilization for pineapple: effects on plant growth and fruit yield. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 2, p. 618-626, 2011.

TOMIO, Denis Borges et al. Antecipação da diagnose foliar em arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 3, p. 250-258, 2015.

URANO, Eliane Oshiro Mocelin et al. 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**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 63-72, 2007.

VÁSQUEZ-JIMÉNEZ, Jhonny.; BARTHOLOMEW, Duane P. Plant Nutrition. In: SANEWSKI, Garth M.; BARTHOLOMEW, Duane P.; PAULL, Robert E. (Eds.). **The Pineapple: botany, production and uses**. 2. ed. Boston: CABI, 2018. p. 175–203.

VELOSO, C. A. C. et al. Resposta do abacaxizeiro à adição de nitrogênio, potássio e calcário em Latossolo amarelo do nordeste paraense. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 396-402, 2001.

WADT, Paulo Guilherme Salvador et al. Alternativas do “DRIS” à cultura de café Conilon (*Coffea canephora* Pierre). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 1, p. 56:83- 92, 1999.

WADT, Paulo Guilherme Salvador et al. Padrões nutricionais para lavouras arrozeiras irrigadas por inundação pelos métodos da CND e chance matemática. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, p.145-156, 2013.

WADT, Paulo Guilherme Salvador et al. Interpretação de índices DRIS para a cultura do cupuaçu. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 125-135, 2012.

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

WADT, Paulo Guilherme Salvador. Relationships between soil class and nutritional status of coffee plantations. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 227-234, 2005.

WADT, Paulo Guilherme Salvador; DA SILVA, Lucielio Manoel. 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, 2016.

WADT, Paulo Guilherme Salvador; SILVA, Davi Jose. Normas multivariadas para avaliação do estado nutricional de mangueiras cultivar Tommy Atkins, pelo método da Composição da Diagnose Nutricional. **Embrapa Rondônia-Comunicado Técnico** (INFOTECA-E), 2020.

WALWORTH, James L; LETZSCH, W. S; SUMNER, M. E. Use of Boundary Lines in Establishing Diagnostic Norms. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, n. 1, p. 123-128, 1986.