**NÍVEIS DE PUTRESCINA, POLIAMINAS E NUTRIENTES
MINERAIS RELACIONADOS A DIFERENTES
CONCENTRAÇÕES DE POTÁSSIO EM BANANEIRA
(*Musa* sp., AAA e AAB) cvs. NANICA E
PRATA ANÃ *IN VITRO***

HUMBERTO ACTIS ZAIDAN

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências, Área de Concentração: Fisiologia e Bioquímica de Plantas.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Fevereiro - 1998

**NÍVEIS DE PUTRESCINA, POLIAMINAS E NUTRIENTES MINERAIS
RELACIONADOS À DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE POTÁSSIO EM
BANANEIRA (*Musa sp.*, AAA e AAB) cvs. NANICA E PRATA ANÃ *IN VITRO***

HUMBERTO ACTIS ZAIDAN

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **OTTO JESU CROCOMO**

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de
São Paulo, para obtenção do título de Mestre em
Ciências, Área de Concentração: Fisiologia e
Bioquímica de Plantas.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Fevereiro - 1998

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz" / USP

Zaidan, Humberto Actis

Níveis de putrescina, poliaminas e nutrientes minerais relacionados a diferentes concentrações de potássio em bananeira (*Musa* sp., AAA e AAB) cvs. nanica e prata anã *in vitro* / Humberto Actis Zaidan. - - Piracicaba, 1998.

114 p. : il.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998.
Bibliografia.

1. Banana nanica 2. Banana prata-anã 3. Biotecnologia 4. Cultivo "in vitro" 5. Nutrição vegetal 6. Poliamina 7. Potássio I. Título

CDD 634.772

À DEUS

*“Porque Deus amou o mundo de tal maneira que deu
seu Filho Unigênito Jesus Cristo, para que todo aquele
que Nele crê não pereça, mas tenha a vida eterna.”*

(João 3.16)

Aos meus pais

ALVARO ZAIDAN

LÍCIA MARIA ACTIS ZAIDAN

Aos meus irmãos

RICARDO e VIRGÍNIA

Ao meu irmão em Cristo

JOSÉ OZINALDO ALVES DE SENA

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À DEUS, na pessoa do Senhor Jesus Cristo, por ter permitido que eu concluísse esse Curso de Mestrado, tendo me auxiliado e confortado em todos os momentos;

Aos meus pais e irmãos que sempre me incentivaram a estudar e têm contribuído de todas as formas para o meu aperfeiçoamento;

Ao amigo, colega e irmão em Cristo, José Ozinaldo Alves de Sena, que Deus colocou em meu caminho, para me incentivar e ajudar, durante esse curso;

Ao orientador Prof. Dr. Otto Jesu Crocomo, pela orientação e amizade, sem as quais não teria sido possível obter pleno êxito no presente trabalho e no curso;

Ao Centro de Biotecnologia de Plantas (CEBTEC), onde foi realizado o presente trabalho;

Ao Curso de Fisiologia e Bioquímica de Plantas onde pude adquirir novos conhecimentos e amigos;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio concedido através da bolsa de estudo;

Ao Prof. Dr. Antônio Natal Gonçalves (Depto. de Ciências Florestais/ESALQ/USP) e ao seu orientado Edson Namita, pela elaboração dos diferentes meios de cultivo usados no presente trabalho;

Ao técnico laboratorista Carlos (Depto. Solos/ESALQ/USP) que realizou as análises de macro e micronutrientes;

Aos técnicos laboratoristas Fernando e Denise (Depto. Solos/ESALQ/USP) pelo auxílio na digestão nitroperclórica do material vegetal;

Ao Prof. Dr. Carlos Tadeu dos Santos Dias (Depto. Estatística/ESALQ/USP) e a Marcelo (CIAGRI/ESALQ/USP) pelo auxílio na análise estatística;

Ao Biólogo Ênio Tiago de Oliveira (CEBTEC/ESALQ/USP) e ao Prof. Dr. Luiz Antônio Gallo (CEBTEC/ESALQ/USP) pelas importantes sugestões;

À Maria Solizete Granziol Silva, secretária do CEBTEC;

A todos do CEBTEC (Romeu, Sandra, Raquel, Fátima, Jaqueline e demais) pela ajuda no preparo dos ápices caulinares;

A Kátia M. de Andrade Ferraz (Biblioteca Central/ESALQ/USP) pela correção das Referências Bibliográficas.

Ao Depto. de Química e Bioquímica/Instituto de Biociências (IB)/UNESP/Botucatu, onde foram realizadas as análises de poliaminas e dos teores de nitrogênio;

Ao Prof. Dr. Fernando Broetto (Depto. de Química e Bioquímica/IB/UNESP/Botucatu) pela grande ajuda nas análises de poliaminas e importantes sugestões;

À Prof. Dra. Catalina Romero Lopes (Depto. Genética/UNESP/Botucatu) por ter permitido o uso do equipamento fotográfico de seu laboratório, com relação às fotos das placas de cromatografia;

Ao técnico laboratorista Estanislau Simioni (CEATOX/UNESP/Botucatu) pela confecção das placas de cromatografia;

À técnica laboratorista Ebes Maria Michelin dos Santos (Depto. de Química e Bioquímica/IB/UNESP/Botucatu) pelo grande apoio dado nas análises bioquímicas e de nitrogênio;

À família Magário pelo fornecimento das mudas de bananeira, cvs. Nanica e Prata Anã, usadas no presente trabalho;

A todos da Aliança Bíblica Universitária (ABU/ESALQ/USP) pela amizade e constante intercessão;

Ao amigo e colega Antônio Pancrácio Souza, pelo grande auxílio na parte de escaneamento das fotos e elaboração de tabelas;

A todos que oraram por mim durante esse curso;

A todos que de alguma forma contribuíram para que fosse possível a realização do presente trabalho e do Curso de Mestrado.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xv
RESUMO.....	xvi
SUMMARY.....	xviii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 A importância dos nutrientes minerais para a bananeira.....	4
2.2 Di- e poliaminas.....	12
2.3 Estresse mineral e poliaminas.....	16
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 Fonte e preparo dos explantes.....	18
3.2 Meios de cultura e tratamentos.....	19
3.3 Análise química: macro e micronutrientes.....	22
3.4 Análise bioquímica: di- e poliaminas.....	22
3.4.1 Extração.....	22
3.4.2 Dansilação direta.....	23
3.4.3 Separação de poliaminas por cromatografia de camada delgada.....	23
3.4.4 Análise quantitativa de poliaminas separadas na cromatografia de camada delgada.....	24
3.5 Delineamento estatístico.....	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1 Observações visuais.....	25
4.2 Número de plântulas e massa de matéria seca.....	28
4.3 Macronutrientes e micronutrientes.....	33
4.3.1 Comportamento de potássio nas plântulas <i>in vitro</i> e nos ápices caulinares.....	33
4.3.2 Relação do potássio com outros nutrientes.....	39

4.4 Inter-relação potássio e di- e poliaminas.....	76
4.4.1 Correlação potássio - putrescina.....	91
4.4.2 Relação K / Putrescina.....	92
5 CONCLUSÕES.....	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Biossíntese de poliaminas em plantas superiores.....	12
2 Fluxograma da metodologia seguida	21
3-A Comportamento da bananeira (<i>Musa</i> sp.) cv. Nanica em diferentes doses de K (5 a 30 mM) <i>in vitro</i> , com 30 dias no meio de proliferação.....	25
3-B Comportamento da bananeira (<i>Musa</i> sp.) cv. Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) <i>in vitro</i> , com 30 dias no meio de proliferação.....	26
4 A-B Plântulas de bananeira (<i>Musa</i> sp.) cvs. Nanica (A) e Prata Anã (B) cultivadas na menor dose de K (5 mM) <i>in vitro</i> , em meio de enraizamento, aos 90 dias, mostrando sintomas de carência deste nutriente, clorose e necrose nas folhas mais velhas (indicadas por setas)	27
5 Número de plântulas diferenciadas dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM), após 30 dias de cultivo em meio de proliferação	28
6 Massa de matéria seca na parte aérea de plântulas de bananeira cvs. Nanica e Prata Anã cultivadas em diferentes doses de K (5 a 30 mM), após 90 dias em meio de enraizamento	29
7 Massa de matéria seca na raiz de plântulas de bananeira cvs. Nanica e Prata Anã cultivadas em diferentes doses de K (5 a 30 mM), após 90 dias em meio de enraizamento	30

8	Massa de matéria seca nas plântulas inteiras dos cvs. Nanica e Prata Anã cultivadas em diferentes doses de K (5 a 30 mM), após 90 dias em meio de enraizamento. Massa de matéria seca no ápice caulinar de ambos os cultivares ..	31
9 A-B	Teor (A) e acúmulo (B) de K na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.....	34
10 A-B	Teor (A) e acúmulo (B) de K na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.....	35
11 A-B	Teor (A) e acúmulo (B) de K na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã em difrentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.....	36
12 A-B	Relação N/K (A) e teores de N (B) na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	39
13 A-B	Relação N/K (A) e teores de N (B) na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.....	41
14 A-B	Relação N/K (A) e teores de N (B) na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	42
15 A-B	Relação K/P (A) e teores de P (B) na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	44
16 A-B	Relação K/P (A) e teores de P (B) na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	45

17 A-B	Relação K/P (A) e teores de P (B) na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	46
18 A-B	Relação K/Ca (A) e teores de Ca (B) na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	48
19 A-B	Relação K/Mg (A) e teores de Mg (B) na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares ...	49
20 A-B	Relação K/Ca (A) e teores de Ca (B) na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	50
21 A-B	Relação K/Mg (A) e teores de Mg (B) na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	51
22 A-B	Relação K/Ca (A) e teores de Ca (B) na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	52
23 A-B	Relação K/Mg (A) e (B) teores de Mg na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	53
24	Relação K/Ca+Mg na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	55
25	Relação K/Ca+Mg na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	56
26	Relação K/Ca+Mg na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	57

27 A-B	Relação K/S (A) e teores de S (B) na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	59
28 A-B	Relação K/S (A) e teores de S (B) na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	60
29 A-B	Relação K/S (A) e teores de S (B) na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	61
30 A-B	Relação K/Cu (A) e teores de Cu (B) na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	63
31 A-B	Relação K/Cu (A) e teores de Cu (B) na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	64
32 A-B	Relação K/Cu (A) e teores de Cu (B) na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	65
33 A-B	Relação K/Fe (A) e teores de Fe (B) na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	66
34 A-B	Relação K/Fe (A) e teores de Fe (B) na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	67
35 A-B	Relação K/Fe (A) e teores de Fe (B) na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	68
36 A-B	Relação K/Mn (A) e teores de Mn (B) na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	69

37 A-B	Relação K/Mn (A) e teores de Mn (B) na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	70
38 A-B	Relação K/Mn (A) e teores de Mn (B) na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	71
39 A-B	Relação K/Zn (A) e teores de Zn (B) na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	72
40 A-B	Relação K/Zn (A) e teores de Zn (B) na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	73
41 A-B	Relação K/Zn (A) e teores de Zn (B) na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares	74
42 A-D	Cromatografia de camada delgada de poliaminas dansiladas na parte aérea (A, B) e raiz (C, D) dos cvs. Nanica (A, C) e Prata Anã (B, D) ; fase móvel: clorofórmio:triethylamina (25:2, v/v); bandas 1 e 7 (A-D), padrões de putrescina, espermidina e espermina (0,5 nmol cada); banda 2 (A-D), extrato dansilado dos ápices caulinares do campo; bandas 3-6 e 8-9, extrato dansilado da parte aérea (A, B) e raiz (C, D) das plântulas <i>in vitro</i> de K 5 a 30 mM respectivamente; banda 10 extrato dansilado da parte aérea (A, B) e raiz (C, D) das plantas de telado; banda 11 (A-D) cocromatografia; banda 12 (A-D), branco onde foi usado água no lugar de extrato. Amônia (NH ₃); Putrescina (Put); Espermidina (Espd); Espermina (Espm); Composto Não Identificado (Cni); Resíduo de Dansil (Res)	77
43 A-B	Curvas (A) e densitometria (B) da parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã, mostrando teores de putrescina em K 5 e 30 mM e nos ápices caulinares. Picos escuros são padrões de poliaminas e os claros amostras	79

44 A-B	Curvas (A) e densitometria (B) da raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã, mostrando teores de putrescina em K 5 e 30 mM e nos ápices caulinares. Picos escuros são padrões de poliaminas e os claros amostras	80
45	Teor de putrescina na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã, de K 5 a 30 mM e nos ápices caulinares.	81
46	Acúmulo de putrescina na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã, de K 5 a 30 mM e nos ápices caulinare	82
47	Acúmulo de putrescina na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã, de K 5 a 30 mM e nos ápices caulinares	83
48	Acúmulo de putrescina na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã, de K5 a 30 mM e nos ápices caulinares	84
49 A-B	Correlação na parte aérea entre teores de K e putrescina nos cvs. Nanica (A) e Prata Anã (B), de K 5 a 30 mM	91
50 A-B	Relação K/Put na parte aérea (A) e raiz (B) dos cvs. Nanica e Prata Anã, de K 5 a 30 mM e nos ápices caulinares (A-B)	93
51	Relação K/Put na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã, de K 5 a 30 mM e nos ápices caulinares	94

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Concentração dos íons (mM) que compõem o meio MS básico e os meios MS modificados	20
2 Proporção de absorção de macronutrientes na plântula inteira do cv. Nanica, após 90 dias de cultivo em meio de enraizamento (K 5 a 30 mM) e no ápice caulinar	62
3 Proporção de absorção de macronutrientes na plântula inteira do cv. Prata Anã, após 90 dias de cultivo em meio de enraizamento (K 5 a 30 mM) e no ápice caulinar	62
4 Proporção de absorção de micronutrientes na plântula inteira do cv. Nanica, após 90 dias de cultivo em meio de enraizamento (K 5 a 30 mM) e no ápice caulinar	75
5 Proporção de absorção de micronutrientes na plântula inteira do cv. Prata Anã, após 90 dias de cultivo em meio de enraizamento (K 5 a 30 mM) e no ápice caulinar	75
6 Teores ($\mu\text{mol/g}$ MMS) de espermidina, composto não identificado e poliaminas totais na parte aérea, raiz e plântula inteira, nos cvs. Nanica e Prata Anã de K 5 a 30 mM e nos ápices caulinares	85
7 Acúmulo (nmol/plântula) de espermidina, composto não identificado e poliaminas totais na parte aérea, raiz e plântula inteira, nos cvs. Nanica e Prata Anã de K 5 a 30 mM e nos ápices caulinares (nmol/ápice)	86
8 Concentração (mM) do total de N, NO_3^- , NH_4^+ , e da relação $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$, nas diferentes doses de K^+	95

**NÍVEIS DE PUTRESCINA, POLIAMINAS E NUTRIENTES MINERAIS
RELACIONADOS À DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE POTÁSSIO EM
BANANEIRA (*Musa* sp., AAA e AAB) cvs. NANICA E PRATA ANÃ *IN VITRO***

Autor: HUMBERTO ACTIS ZAIDAN

Orientador: Prof. Dr. OTTO JESU CROCOMO

RESUMO

Nas abordagens biotecnológicas de propagação de plantas, os meios de cultura devem ter uma composição química adequada à essa finalidade permitindo a otimização da produção. Como a bananeira (*Musa* sp.) é exigente em potássio, a busca do nível adequado desse macronutriente envolve não somente o comprometimento com o nível dos outros nutrientes (balanço iônico), mas também a relação entre eles. Para acompanhar os efeitos fisiológicos das relações de vários teores de K com os outros macro e micronutrientes é que explantes caulinares dos cvs. Nanica e Prata Anã foram cultivados em meio MS modificado em presença de BAP, sacarose, vitaminas, agar, suplementado com 6 diferentes doses de K: 5, 10, 15, 20, 25 e 30 mM, sendo que a dose 20 mM corresponde à concentração de K existente no MS básico, que foi adotado como controle. Foram feitas análises de massa de matéria seca (MMS), macro e micronutrientes na parte aérea, raiz e plântulas inteiras. Ao final do experimento foi determinado o número de plântulas e calculado o valor das relações N/K, K/P, K/Ca, K/Mg, K/Ca+Mg, K/S, K/Cu, K/Fe, K/Mn, K/Zn. Foram também dosados os teores da diamina putrescina e de poliaminas, e calculada a relação K/putrescina. Todos os parâmetros foram analisados segundo um delineamento experimental inteiramente casualizado. As plântulas que se desenvolveram em baixas concentrações de K apresentaram sintomas visuais de deficiência, como clorose e necrose das folhas mais velhas. Os cultivares apresentaram diferenças quantitativas entre si tanto em relação aos valores de MMS como em número de plântulas, relacionados às doses de K presentes nos meios de cultura. Em ambos os cultivares foi observada uma relação direta entre o

desenvolvimento das plântulas e as concentrações de K com otimização ao redor de K 15 a 20 mM. Os teores de putrescina e de poliaminas foram maiores nos níveis mais baixos de K, atingindo o máximo na dose de K 5 mM. Em K 20 mM ocorreram maiores valores de MMS e em K 15 mM maior número de plântulas regeneradas. O íon K em geral foi mais intensamente absorvido do que os outros macro e micronutrientes sendo que estes tiveram sua absorção diminuída devido provavelmente a um efeito de diluição de seus teores pelo crescimento das plântulas *in vitro*. Esses resultados, inclusive os obtidos nas demais relações entre K e os outros macro e micronutrientes, as quais sempre foram crescentes (de K 5 a 30 mM), corroboram a essencialidade desse nutriente para os cvs. Nanica e Prata Anã.

**LEVELS OF PUTRESCINE, POLYAMINES AND MINERAL NUTRIENTS
IN RELATION TO DIFFERENT POTASSIUM CONCENTRATIONS
IN BANANA PLANT (*Musa* sp., AAA and AAB) cvs. NANICA
AND PRATA ANÃ *IN VITRO* CONDITION**

Author: HUMBERTO ACTIS ZAIDAN

Adviser: Prof. Dr. OTTO JESU CROCOMO

SUMMARY

Potassium is required in high dosis by the banana plant (*Musa* sp.) and interacts with other macro and micronutrients present in the medium in which banana tissues are maintained *in vitro* condition, with consequent modifications in the plant cell metabolism, mainly in nitrogen compounds, such as proteins and amino acids. When K is present in concentrations lower than the required, diamines such as putrescine, and polyamines, such as spermidine and spermine are formed. In order to establish the best dosis of K and follow the physiological consequences of the relationships N/K, K/P, K/Ca, K/Mg, K/Ca+Mg, K/S, K/Cu, K/Fe, K/Mn, K/Zn and K/putrescine, shoot apex of two banana cvs. Nanica and Prata Anã were maintained in asseptic conditions in modified MS media in the presence of 6 different dosis of K: 5, 10, 15, 20, 25 and 30 mM, K 20 mM being the K concentration in basic MS medium, and then transferred to rooting media with the same different K dosis. Dry wt., macro and micronutrients were measured in the shoots, roots and the intire plantlet, and number of plantlets produced determined, the data being analysed estatistically. Putrescine and polyamines were also determined. Visual symptoms of K deficiency such as clorosis and necrosis in the older leaves of all plantlets under low dosis of K were observed. The levels of putrescine and polyamines increased as K decreased in the medium, reaching the maximum value at K 5 mM, both cultivars presenting similar bahavior in relation to the diamine in some K concentrations. Quantitative differences were obtained among the two cultivars pertained to dry wt. values, number of *in vitro* regenerated banana plantlets and K concentration with

optimization around K 15 and 20 mM. In general K absorption was more intense than the other nutrients, the absorption of the later being decreased probably due to a dilution effect of their values as the banana plantlets developed *in vitro*. These results, including those pertained to the relationships between K and the other nutrients, which always were high (from K 5 to 30 mM), corroborate the importance of potassium ion to the banana cvs. Nanica and Prata Anã.

1 INTRODUÇÃO

A banana (*Musa* sp.) é um fruto tropical de grande importância econômica, alimentícia e social, sendo uma das frutas mais consumidas no mundo; é explorada na maioria dos países tropicais. O Brasil é hoje o segundo maior produtor mundial de banana, com uma produção de 5.692.000 t no ano em 1996, equivalente a 10,20% da produção mundial, perdendo apenas para a Índia que produziu 9.935.000 t no mesmo ano; vindo o Equador em terceiro lugar com uma produção de 5.309.000 t (FAO, 1997).

A bananeira é cultivada em todos os estados brasileiros, desde a faixa litorânea até os planaltos do interior. Ocupando o segundo lugar entre as fruteiras em relação à área colhida, a banana foi cultivada em 517.076 hectares do território nacional (Anuário Estatístico do Brasil, 1996). É uma das frutas mais apreciadas pelos consumidores brasileiros, sendo superada nessa preferência apenas pela laranja.

O volume total de produção, em torno de seis milhões de toneladas/ano (FAO, 1997), é praticamente consumido dentro do país. Quanto à distribuição regional da produção, registram-se os seguintes índices: Nordeste (37,5%), Sudeste (26,5%), Norte (19%), Sul (11%) e Centro-Oeste (6%). Com relação aos maiores Estados produtores, tem-se a seguinte ordem: Bahia (12%), Pará (10%), São Paulo (9%), Pernambuco (8%), Santa Catarina (8%), Minas Gerais (8%). A produção restante (45%) é originária dos demais estados (Anuário Estatístico do Brasil, 1996).

Dado o seu enorme potencial, a bananicultura é motivo de interesse cada vez maior da parte dos pesquisadores do mundo inteiro. Todavia, o inventário dos conhecimentos científicos e tecnológicos disponíveis sobre essa cultura é ainda relativamente pequeno. Além disso, são muitos os problemas básicos que impedem o seu desenvolvimento e aproveitamento em maior escala.

A utilização de solos pouco férteis e a não manutenção dos níveis adequados de nutrientes durante o ciclo da planta (mãe-filho-neto) são dois fatores responsáveis pela baixa produtividade da cultura da bananeira. Na maioria das vezes, o desconhecimento do solo e, principalmente, da exigência nutricional da cultura, leva à prática de adubação inadequada que afetará significativamente o desenvolvimento e a produtividade da bananeira.

A cultura da bananeira requer fertilização abundante, não só por ser grande a quantidade de elementos exportados pelos frutos, mas também porque os solos da maioria das regiões produtoras são geralmente pobres em nutrientes. A bananeira é uma planta que requer nutrientes não apenas em quantidade mas também em qualidade, sendo bastante exigente, principalmente em potássio, superando as exigências que são feitas por várias outras culturas. A remoção de K_2O (kg/ha) pela cultura da bananeira é de aproximadamente 1.000, já em outras culturas como citros 350, em cana-de-açúcar 340, milho 120, batata 310, feijão 120, soja 170, cacau 90, café 130, algodão 90, alfafa 170 e seringueira 65. Tem sido mostrado que o potássio tem uma função fundamental na ativação de mais de 60 sistemas enzimáticos em plantas (Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1990).

Segundo Lahav & Turner (1983), a bananeira no campo absorve em ordem decrescente os seguintes nutrientes: $K > N > Ca > Mg > S > P$ (macronutrientes) e $Cl > Mn > Fe > Zn > B > Cu$ (micronutrientes), sendo que em geral após o K, o Cl é o elemento mais absorvido. Segundo Diniz (1997), a bananeira *in vitro* cv. Prata Anã, absorve em ordem decrescente os seguintes nutrientes $K > N > Ca \geq P > Mg \cong S$ e $Fe > Mn > Zn > B > Cu$.

A bananeira é propagada assexuadamente, sendo que atualmente, o cultivo de suas gemas *in vitro* constitui uma metodologia de propagação assexuada eficaz, permitindo uma rápida multiplicação em grande escala a partir de um único explante. Desse modo, usando-se essa metodologia pode-se programar a produção de mudas, facilitando assim a disponibilidade de material vegetal para o plantio. (Lameira et al., 1990). Além disso, as técnicas de micropropagação mantêm a fidelidade dos genótipos selecionados, facilitando a produção e intercâmbio de material livre de vírus e de outros patógenos (Souza et al, 1993; Souza et al. 1994). A produção comercial de bananeiras

micropropagadas está agora estabelecida em muitos países e estima-se que cerca de 15-20 milhões de plantas foram produzidas em 1991 em todo mundo (Israeli et al., 1995).

Segundo Souza & Gonçalves (1996), torna-se claro o expressivo potencial de otimização de culturas *in vitro* a partir de adequações dos nutrientes minerais, favorecendo a expressão natural dos clones para a sua multiplicação. Os autores consideram ainda que a existência de uma relação adequada entre os nutrientes minerais é tão ou mais importante que a própria quantidade destes no meio de cultura, pois há uma interação entre os mesmos pertinente à absorção e disponibilidade de cada um deles.

Desse modo, a composição mineral e orgânica do meio de cultivo é de suma importância para se obter bons resultados; mudanças nessa composição levam à importantes informações que podem ser empregadas na melhoria do meio, para otimização do crescimento. Por outro lado, permite o entendimento de alguns aspectos da fisiologia da nutrição *in vitro*, ainda não totalmente conhecidos (Diniz, 1997), principalmente relacionados com a deficiência desses nutrientes, como por exemplo do K, a qual se manifesta por manchas necróticas nas folhas que na realidade acumulam a diamina putrescina e em menor extensão as poliaminas espermidina e espermina (Coleman & Richards, 1952; Crocomo & Basso, 1974; Smith, 1985).

É portanto bastante interessante a realização de pesquisas de melhoramento relacionadas à eficiência na absorção de nutrientes pela bananeira. Isto poderia ser de particular importância para a seleção de genótipos que potencialmente apresentassem maior eficiência na absorção de potássio, devido às altas exigências deste elemento (Lahav, 1995). Os métodos *in vitro*, os quais têm sido utilizados com sucesso para a propagação da bananeira, permitem o estudo da otimização das relações nutricionais referentes ao crescimento e produção dessa fruteira.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo estudar o comportamento de parâmetros fisiológico-bioquímicos como crescimento, absorção de nutrientes minerais e seus teores nos tecidos, e produção de di- e poliaminas na bananeira (*Musa* sp.) cvs. Nanica e Prata Anã mantidas *in vitro* em diferentes concentrações de potássio.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A importância dos nutrientes minerais para a bananeira

Segundo Champion (1975), a bananeira é uma monocotiledônea herbácea gigante, que se originou na Ásia Meridional e de onde foi difundida para todos os países do globo terrestre e, segundo Shepherd (1983), a grande maioria dos cultivares de banana conhecidos em todo o mundo originou-se das espécies selvagens, *Musa acuminata* Colla (AA) e *Musa balbisiana* Colla (BB).

Os cultivares de banana mais utilizados em todo o mundo em cultivos comerciais são híbridos triplóides, sendo que o cultivar Prata pertence ao grupo genômico AAB e está incluído no subgrupo Prata (Shepherd, 1983).

Martín-Prével (1980) enfatizou que análises de bananeiras têm sido efetuadas desde 1807 e que em 1913, Fawcett destacou a importância do potássio para a sua nutrição: os frutos apresentavam 60 a 64% desse elemento e as demais partes da planta, 33 a 38%.

Twyford (1967) relatou diversos resultados sobre absorção de macronutrientes em várias cultivares de bananeiras do grupo AAA, subgrupo Cavendish, obtidos por pesquisadores de todo o mundo. Ele constatou uma relação média de 4N:1P:13K:4Ca:2Mg, porém verificou-se diferenças no total absorvido, especialmente de N e K. A sequência de absorção observada foi K>N>Ca>Mg>P e os teores absorvidos, em g/bananeira, foram 317 K, 89 N, 85 Ca, 56 Mg e 23 P, em média. Posteriormente, Warner & Fox (1977) também constataram que a bananeira é reconhecidamente exigente em potássio e nitrogênio. O potássio exportado com a colheita é relativamente constante, nos cultivares do subgrupo Cavendish, como observou Lacoey (1974). Este autor

também observou que nos solos com teores mais elevados desse elemento houve uma maior absorção pelas bananeiras, à medida que se forneceu mais nitrogênio. As mobilizações relativas de potássio tenderam a diminuir à medida que as bananeiras ficaram mais velhas e que a relação K/N variou pouco com a idade das mesmas. Por sua vez, Warner & Fox (1977) afirmaram que a bananeira requer o potássio em quantidade superior ao nitrogênio e que sua deficiência limita o número de folhas verdes e o desenvolvimento da planta. Segundo estes autores, para que os bananais tenham um alto rendimento é necessário um balanceamento adequado de N:P:K, estabelecido em 9:2:35, sendo que o nitrogênio é especialmente importante durante os três primeiros meses de vida.

Desse modo, a bananeira é uma cultura exigente em nutrientes, principalmente em K para proporcionar boas produções, sendo que em uma deficiência aguda de K ocorre um retardamento geral no crescimento, diminuição da altura da planta, da circunferência do pseudocaule e do tamanho das folhas e menor longevidade das mesmas. Essa situação crítica é o resultado de redução na intensidade da respiração e da massa de matéria seca total, pela diminuição da fotossíntese. Lembre-se que a produção de matéria seca total é consequência do balanço entre a respiração e a fotossíntese (Lahav, 1972). Lahav & Turner (1983) destacam que quando K não é suficiente há redução da migração de carboidratos das folhas para o fruto, e na eventualidade de se dar a redução na conversão em amido resultando na formação de cachos frágeis com frutos finos ocorre um retardamento na iniciação floral, redução no número de frutos por cacho, número de pencas por cacho e principalmente uma redução no tamanho dos frutos. Quando solos deficientes em K recebem esse nutriente pode ser esperado um aumento de mais de 40% na produção com a aplicação de K, sendo que esse índice pode ser aumentado sob condições climáticas favoráveis (Langenegger & Smith, 1986).

Em 1985 um relatório técnico da Embrapa (1985) reportava teores de K na massa de matéria seca da terceira folha na época de floração de 2,20% no cultivar Mysore, 2,21% para Prata e Pacovan e 2,52 e 2,70% para os cultivares Nanicao e Nanica, respectivamente. No limbo foliar de planta adulta do cultivar Pacovan foram encontrados

teores ao redor de 2,15% de K e em rebentos ao redor de 7,52% de K (Neves *et al.*, 1991).

Gomes (1988) trabalhando com os cultivares Valery e Gran Enano observou na matéria seca do limbo foliar da folha III, um aumento no teor de K de 2,65% para 3,23% quando foram aplicados doses crescentes de sulfato de potássio de 0-450 kg/ha/ano.

Conforme Diniz (1997), as quantidades de macronutrientes totais absorvidos pelas plântulas de bananeira cv. Prata Anã cultivadas *in vitro* seguiram a ordem: $K > N > Ca \geq P > Mg \cong S$, apresentando as proporções 100:79:10:10:6:6, aos 30 dias, e 100:81:12:8:6:6 aos 60 dias de cultivo em meio MS básico, respectivamente.

Os sintomas de carência do nitrogênio geralmente aparecem mais cedo na bananeira, podendo se manifestar até no seu primeiro mês de vida (Medina, 1990), sendo considerado o elemento mais importante para o crescimento da bananeira (Lahav & Turner, 1983).

Os teores médios de N encontrados na terceira folha da bananeira em época de floração são de 3,01, 3,06, 3,16, 3,26 e 3,68% de N para as cultivares, Mysore, Prata, Pacovan, Nanicao e Nanica, respectivamente. Para os cultivares Nanica e Nanicao, Hewitt (1955) cita teores médios de 2,67% considerando níveis adequados, em torno de 2,60%. Para o cultivar Pacovan, Neves *et al.* (1991) encontraram 2,02% de N em limbo foliar de planta adulta, enquanto que em rebentos o teor de N encontrado foi de 1,44%.

As formas amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) são as mais comumente utilizadas em cultivo *in vitro*. A maior taxa de absorção de nitrogênio nos primeiros períodos de cultivo, que coincide também com o maior crescimento dos tecidos, provavelmente é causada pela absorção intensa de cátions, principalmente de NH_4^+ pelos explantes, que após seu esgotamento passam a absorver NO_3^- (Desamero *et al.*, 1993; Mezzetti *et al.*, 1991)

Loreti *et al.* (1988) recomendam o uso de baixos níveis de N nos estágios iniciais (multiplicação ou divisão celular) e maiores concentrações, subseqüentemente para aumentar a formação de gemas axilares. Esses autores observaram uma correlação entre alto vigor e baixo desenvolvimento de gemas quanto o meio inicial era rica em nitrogênio.

Para a maioria das plantas cultivadas o teor de fósforo está entre 0,2 a 0,4% na massa de matéria seca, sendo que em bananeira pode variar de níveis baixos como 0,07% em pecíolo de folha no estágio de rebento (cv. Dwarf Cavendish) (Lahav & Turner, 1983), a níveis médios como 0,16% em folhas (cultivares Prata, Pacovan e Mysore) e 0,18 e 0,20% (cvs. Nanicao e Nanica), segundo dados da Embrapa, (1985). Níveis elevados de 0,60% foram encontrados por Neves et al. (1991) em limbo foliar de planta adulta da cultivar Pacovan. Hernandez et al. (1985) encontraram níveis de P oscilando de 0,09 a 0,32% em folhas, pecíolos e rizomas do cultivar Nanicao, enquanto que teores médios de 0,215 e 0,233% de P em folhas de bananeira dos cultivares Nanica e Nanicao, respectivamente. Foram detectadas por Hewitt (1955) o qual considerou como níveis críticos, quando o teor de P na massa de matéria seca era menor que 0,087% e níveis adequados com 0,196%.

O fósforo é rapidamente absorvido pelas células e tecidos vegetais nos primeiros dias de cultivo *in vitro* e, portanto, sua deficiência limita o desenvolvimento da cultura, como foi comprovado por vários autores. Assim, no cultivo de *Catharanthus roseus*, cerca de 50% do suprimento de P foi consumido aos 6 dias, apresentando deficiência completa aos 10 dias (MacCarthy et al. 1980). No cv. Maça, Barroso et al. (1985) observaram que o limite de deficiência de P era aos 40 dias de cultivo. Por outro lado, Singha et al. (1987) trabalhando com *Malus* sp e *Pyrus communis*, verificaram que após 6 semanas, aproximadamente, 50% inicial havia sido removido do meio. Em *Actinidia deliciosa*, Mezzetti et al. (1991) observaram que aos 30 dias apenas 5,5% do P inicial permanecia no meio de cultura.

Marchal et al. (1988), trabalhando com a nutrição mineral da bananeira *in vitro*, concluíram que o meio de cultura MS deve ser enriquecido com P e K para suprir as suas necessidades nutricionais. Segundo Diniz (1997) o meio MS básico possui baixo teor de P para o cultivo *in vitro* de bananeira e sua concentração pode ser duplicada no meio.

Gomes (1988) observou que a sequência de absorção de Ca pela planta rebento do cultivar Prata foi: pseudocaule>folha>rizoma>pecíolo e que as curvas de produção de massa de matéria seca na parte aérea e nos rizomas de bananeira acompanham a curva de absorção de cálcio, comprovando o observado por Lahav & Turner (1983) os quais

constatarem que a absorção de Ca durante o crescimento da planta segue o acúmulo de matéria seca pelo menos até a emergência do cacho.

Devido a baixa mobilidade do Ca na planta, os sintomas de sua deficiência apresentam-se nas folhas novas que se tornam cloróticas (Carvalho et al., 1986). Apesar de não se detectar influência sobre o rendimento quantitativo da bananeira, seus frutos são de má qualidade, com tendência a rachadura antes da maturação e com ciclo mais longo (Martin-Prével, 1980). Esses sintomas indicam que a deficiência de Ca causa variações na estrutura das células das plantas, ocorrendo segundo Marinos (1962) desorganização do envelope nuclear, das membranas plasmática e vacuolar, da mitocôndria, aparelho de Golgi e plastídios, levando a uma deterioração do tecido metabolicamente ativo. Cultivando *in vitro* plântulas de *Solanum tuberosum*, submetidas a deficiência de Ca, Sha et al. (1985) observaram necrose do ápice resultando no desenvolvimento de gemas laterais, as quais, transferidas para meio com baixa concentração de Ca, passavam a desenvolver o mesmo sintoma.

Além de ser parte integrante da molécula de clorofila, o magnésio é cofator de inúmeras enzimas e interagem positivamente na absorção de outros nutrientes, principalmente o fósforo (Crocomo & Malavolta, 1964; Lourenço et al., 1968; Malavolta, 1980). Em relação ao K, a deficiência de Mg determina um desequilíbrio fisiológico conhecido como “o azul da bananeira” (Brun, 1952).

Tem-se observado que em diferentes culturas mantidas *in vitro* o Mg é absorvido mais rapidamente no início do cultivo. Assim em *Catharanthus roseus*, MacCarthy et al. (1980) verificaram que o Mg era absorvido rapidamente do 6º ao 14º dia de cultivo, sua absorção permanecendo estável posteriormente. Em *Malus* sp e *Pyrus communis* ocorreu redução na absorção a partir da segunda semana de cultivo. Segundo Diniz (1997) do Mg total na plântula de bananeira, cerca de 60 % foi absorvido nos primeiros 20 dias de cultivo *in vitro*.

A disponibilidade de Mg para as raízes tem muita influência na absorção (Turner & Barkus, 1981). Um aumento na concentração desse nutriente no meio de cultura, aumentou a sua absorção (Veliky et al., 1977). Em condições hidropônicas se a proporção K^+/Mg^{+2} no meio for suficientemente alta, pode ocorrer diminuição da

absorção de Mg, levando a deficiência desse elemento; como esse antagonismo ocorre também com relação ao Ca, o aumento na concentração de um desses elementos, implica na diminuição da absorção do Mg e vice-versa (Malavolta, 1976).

Sendo o enxofre um nutriente de baixa mobilidade na planta, há uma tendência de que seja acumulado nas folhas mais velhas e mesmo em caso de deficiência severa não migra das folhas velhas para as novas e somente um grande excesso conduz a um acúmulo apreciável nos tecidos condutores (Fox et al. 1979). A sua função principal é a ativação de enzimas. Como constituinte de vários aminoácidos (metionina, cisteína e cistina), proteínas, sua deficiência provoca uma série de distúrbios metabólicos como: decréscimo na atividade fotossintética, na respiração e na síntese de proteínas (Malavolta, 1980). Sua deficiência determina o amarelecimento das folhas novas, ocorrendo progressivamente o aparecimento de áreas necróticas nas margens das folhas (Lahav & Turner, 1983). Distúrbios de diferenciação com deformações morfológicas importantes ocorrem em bananeiras velhas como espessamento das folhas e diminuição na área foliar, com o desaparecimento total dos limbos e abortamento da região de crescimento vegetativo em casos mais graves (Carvalho et al., 1986).

Das análises dos macronutrientes nas várias partes da bananeira e das observações experimentais sobre o comportamento fisiológico dessa espécie frente à insuficiente disponibilidade dos mesmos, concluiu-se que há uma interação e correlação positiva ou negativa entre todos eles (Murray, 1960).

Poucos trabalhos têm sido realizados sobre as exigências de micronutrientes em bananeira (Medina, 1990). Como nas demais espécies vegetais, os micronutrientes, entre eles o ferro, zinco e cobre, os quais são utilizados no presente trabalho, são cofatores de várias reações enzimáticas (Malavolta et al., 1989). De acordo com Twyford (1967), problemas com micronutrientes certamente tornam-se fatores limitantes à produção em muitas áreas com deficiência.

Segundo Diniz (1997) as quantidades de micronutrientes totais absorvidas por plântulas de bananeira cv. Prata Anã cultivadas *in vitro* seguiram a ordem: Fe>Mn>Zn>B>Cu apresentando as proporções 100:26:28,9:17,2:2,4 aos 30 dias e 100:36:28:16,6:2,7, aos 60 dias de cultivo em meio MS básico, respectivamente.

O cobre é ativamente absorvido e pode ser translocado através da planta quando o suprimento é adequado (Mengel & Kirkby, 1979) e segundo Lahav & Turner (1983) é exigido em quantidades muito baixas pela bananeira.

Enquanto os níveis médios de Cu para os cultivares Nanica e Nanicão são respectivamente 9,4 e 8,7 mg/kg (Gallo et al., 1974) os teores desse micronutriente na época de floração, nos cultivares Pacovan, Mysore, Prata, Nanica e Nanicão foram 15 mg/kg para as três primeiras e 24 e 17 mg/kg para as duas últimas, respectivamente (Embrapa, 1985).

Segundo Carvalho et al., (1986), a deficiência de Cu em bananeira determina o enfraquecimento geral da planta, refletindo-se principalmente na segunda geração. Ocorre clorose e encurtamento da nervura central e das pontas das folhas em direção ao pseudocaule.

Segundo Walmsley & Twyford (1976) a quantidade total de ferro absorvida por uma planta é de 1g e cerca de 80% dessa quantidade é absorvida durante a primeira metade da vida da planta. A sua deficiência resulta em clorose total nas folhas novas que ficam encarquilhadas e lanceoladas podendo cair (Carvalho et al., 1986).

Análise da terceira folha na época de floração, mostra teores de Fe da ordem de 139, 135, 153, 173 e 163 mg/kg para os cultivares Pacovan, Mysore, Prata, Nanica e Nanicão, respectivamente (Embrapa, 1985). Esses níveis excedem os encontrados na maioria das outras culturas, que são em torno de 50-100 mg/kg.

Apesar da quantidade de Zn exigida pela bananeira ser relativamente pequena (Lahav & Turner, 1983) é o elemento cuja deficiência é mais amplamente relatada, confundindo-se muito com infecção causada por vírus.

De acordo com Embrapa (1985) os cultivares Nanicão, Prata, Mysore, Pacovan e Nanica apresentam os seguintes teores de Zn respectivamente 23, 25, 29, 31 e 36 mg/kg na terceira folha na época de floração. Por sua vez para o cultivar Dwarf Cavendish, Lahav & Turner (1983) citam os seguintes teores: limbo, 18 mg/kg; nervura, 12 mg/kg e pecíolo, 8 mg/kg.

Charpentier & Martin-Prével (1965). cultivando a bananeira em areia lavada e irrigando com solução nutritiva, concluíram que a carência de zinco pode influenciar

negativamente a diferenciação de suas células. Nas plantas maduras a deficiência inicial caracteriza-se por faixas cloróticas no sentido das nervuras secundárias, sendo que no estado agudo aparece clorose no limbo das folhas novas que são de menor tamanho, alongadas, pontuadas e com tendência a formar rosetas. Segundo Walmsley & Twyford (1976) na bananeira as maiores concentrações de Zn encontram-se nos tecidos mais jovens, especialmente nos meristemáticos e em folhas ainda não emergidas na fase vegetativa, sendo esses os mais sensíveis à sua deficiência, por estar o Zn envolvido na síntese de precursores da auxina.

O zinco interage com outros nutrientes, sendo clássica na literatura a deficiência de Zn induzida por P, sendo que sua presença no meio leva à diminuição na absorção do Zn, provocando sintomas de deficiência, pois o nível do micronutriente na matéria seca decresce significativamente (Malavolta, 1980).

Quanto ao manganês, Twyford & Walmsley (1968) chamam a atenção para o fato de que as folhas superiores contém maiores concentrações desse micronutriente, sendo que no pseudocaule e no rizoma encontram-se concentrações menores do mesmo

Em bananeira os teores de Mn são muito variáveis dependendo da cultivar. Assim, Embrapa (1985) cita os níveis de 681, 765, 508, 562 e 357 mg/kg nos cultivares Pacovan, Mysore, Prata, Nanica e Nanicao, respectivamente, na terceira folha em época de floração. Lahav & Turner (1983), trabalhando com rebentos da cultivar Dwarf Cavendish, verificaram níveis variando de 25 a 80 mg/kg em lâmina foliar, nervura e pecíolo. Por outro lado os níveis médios citados por Gallo et al. (1974) foram 986 e 611 mg/kg para os cultivares Nanica e Nanicao. Deficiência de Mn determina clorose inicialmente nas folhas II, III e IV, depois nas mais novas e nas mais velhas. O amarelecimento começa na margem, podendo persistir uma faixa fina e verde na borda. A clorose progride para a nervura principal, porém mais rapidamente sobre as nervuras transversais principais, que sobre as transversais secundárias. Os espaços internervais ficam verdes. Os sintomas ganham a totalidade da planta cuja folhagem adquire uma cor amarelo-esverdeada e quando a carência é grave a produção cai muito (Charpentier & Martin-Prével, 1965).

Segundo Diniz (1997) o Fe é o micronutriente absorvido em maior quantidade por plântulas de bananeira cv. Prata Anã cultivadas *in vitro*, além disso as concentrações dos micronutrientes Zn, Mn, Cu e B no meio MS básico podem ser reduzidas, para se aproximarem das proporções extraídas pelas plântulas, favorecendo o crescimento das mesmas por um período mais longo.

pode produzir efeitos visíveis tais como atraso da senescência em folhas destacadas e formação de embriões ou primórdios florais em cultura de tecidos vegetais.

Apesar de o desenvolvimento das plantas estar relacionado com a variação nos teores das poliaminas (Cohen, 1971), a ação dessas amins, segundo Flores (1990), ainda não está totalmente esclarecida. Tem sido sugerido, contudo, uma possível função dessas substâncias como reguladoras do crescimento ou como mensageiro secundário nas células vegetais (Slocum et al., 1984; Smith, 1985; Kaur-Sawhney et al., 1986; Phillips et al., 1987). Essa sugestão encontra embasamento na observação de Cohen (1971) de que o crescimento das plantas superiores está associado à variação no nível de poliaminas nos tecidos vegetais. Entretanto, as poliaminas também atuam como precursoras da síntese de etileno, o qual como lembram Galston & Kaur-Sawhney (1987) tem efeito contrário ao das poliaminas no crescimento e desenvolvimento. Aliás as poliaminas podem servir como precursor de síntese para uma ampla variedade de alcalóides (Guggisberg & Hesse, 1983) e fenólicos conjugados, os quais são muito difundidos nas partes florais (Martin-Tanguy, 1985).

Por outro lado, os teores das poliaminas podem sofrer variações quando as plantas estão frente à diferentes tipos de estresse, como estresses ácido, osmótico e de nutrientes minerais. Resultados experimentais dessa ultima condição fisiológica, e também um dos objetivos do presente trabalho, mostram que em deficiência de potássio em *Sesamum indicum* (Crocomo et al., 1970; Crocomo & Basso, 1974) os níveis de putrescina aumentam drasticamente, o mesmo ocorrendo quando outros elementos estão presentes em níveis insuficientes, como por exemplo magnésio em cevada, rabanete, ervilha, feijão fava, espinafre (Basso & Smith, 1974), potássio em *Phaseolus vulgaris* (Crocomo et al. (1974), cálcio em *Oryza sativa* (Lima, 1994) e em estresse salino (NaCl) em *Phaseolus vulgaris* (Broetto, 1995). Basso (1987) cita que taxas elevadas de biossíntese de poliaminas, também são detectadas em cultura de células de fumo em rápida proliferação, em folhas e gemas de feijão em crescimento, no tecido meristemático de batata, na extremidade de raízes de milho e durante o desenvolvimento do tomateiro e fumo.

Desempenhando papel vital no metabolismo vegetal (Manoharan & Gnamam, 1992), as poliaminas estimulam a divisão celular, atuando na regulação da síntese de DNA em células de *Catharanthus roseus* (Minocha et al., 1991). Nessa sua ação, afetam os processos de mitose e meiose (Galston & Kaur-Sawhney, 1987; Slocum et al., 1984) pois sendo policátions protonados em pH fisiológico (Kimberly & Goldstein, 1981), as poliaminas ligam-se a poliânions como RNA, DNA e resíduos de proteína afetando a síntese e atividade dessas macromoléculas.

A ligação de poliaminas à proteínas em locais de desenvolvimento, internós, folhas e ovário de fumo, cada um contendo regiões de divisão celular, alongamento e célula quiescente foi observada por Kaur-Sawhney & Appllewhite (1993). As poliaminas endógenas, ligadas às proteínas foram mais abundantes em regiões de ativa divisão celular nas regiões apicais dos internós, folhas jovens e ovários do que em regiões adultas basais dos internós, folhas expandidas e ovários maduros, respectivamente. A ligação espermidina-proteína foi maior em ovários jovens, enquanto a ligação putrescina-proteína foi mais intensa em folhas jovens. Estes resultados sugerem, uma relação entre ligação das poliaminas com proteínas e atividade mitótica. Anteriormente, estudando as aminas alifáticas putrescina e espermidina, como fator de crescimento estimulando a divisão celular em *Helianthus tuberosus in vitro* Bagni (1966) havia observado que estas aminas promoveram a divisão celular, relatando que a diamina putrescina pode ser considerada um dos fatores de crescimento naturais. Trabalhando com plântulas de *Phaseolus vulgaris*, esse mesmo autor (Bagni, 1970) verificou que os teores de espermidina e espermina aumentaram nos brotos, juntamente com correspondente aumento de RNA, proteína e crescimento.

A biossíntese de poliaminas durante vários estágios de desenvolvimento de feijão foi estudada por Palavans & Galston (1982) os quais observaram alta correlação entre atividade meristemática, conteúdo de poliaminas e atividade de enzimas biossintéticas de poliaminas, havendo um gradiente no nível e atividade das poliaminas em função do local nos vários órgãos da planta. Em geral, a atividade biossintética é alta quando a divisão celular é ativa, mas diferentes poliaminas tendem a ter seus próprios gradientes, quando o alongamento da célula é o principal processo de crescimento.

Os níveis de poliaminas em coleóptilos e raízes de milho foram estudados por Dumortier et al. (1983) os quais observaram que em ambos o teor de putrescina aumentava da ponta para a base; por sua vez o teor de espermidina estava distribuído igualmente em todo o coleóptilo, enquanto na raiz o teor foi maior na ponta que em outras regiões. Espermina nos coleóptilos, não foi observada na forma livre, mas apenas na forma ligada; nas raízes, o teor de espermina livre foi detectado apenas na ponta, onde ocorre maior atividade meristemática; em coleóptilo, em ausência de divisão celular, espermina livre não pôde ser detectada. Putrescina aumentou nas células basípetas da raiz, que são células velhas, podendo este fato ser atribuído à sua limitada conversão em espermidina e espermina, devido à baixa atividade da espermidina ou espermina sintetase.

Em *Passiflora*, Desai & Metha (1985) observaram que das três aminas, putrescina aumentou mais do que as outras durante o aparecimento de brotos, raízes e indução de calos, o que foi acompanhado por um aumento gradual de espermidina, enquanto que o teor de espermina permaneceu inalterado. Essas observações levaram aqueles autores a sugerir que as poliaminas estariam envolvidas no processo de rizogênese e desdiferenciação celular (indução de calos). Mudanças no processo de diferenciação celular estaríamos associados com teores elevados de putrescina em tecidos de *Mendicago sativa*, como foi concluído por Meijr & Simmonds (1988) os quais encontraram aumento no teor de putrescina durante a fase lag e diminuição durante o período de rápido crescimento das células dessa espécie *in vitro*.

Tecidos em crescimento tal como radícula, hipocótilo e coleóptilo apresentaram baixos teores de poliaminas, como foi observado por Felix & Harr (1987) os quais estudaram a interação entre poliaminas, divisão celular e crescimento em diferentes partes da planta de várias espécies. A concentração de putrescina e/ou espermidina, em cotilédones ou endosperma de sementes, foi menor que em órgãos de armazenamento. Os baixos níveis de poliaminas detectados podem ser devidos à exportação para outros locais da planta; alternativamente as poliaminas poderiam ser usadas em processos ainda não elucidados. Plantas com baixos níveis de poliaminas livres poderiam ter mais poliaminas covalentemente ligadas a substâncias ácido-solúveis ou ácido-insolúveis e ser liberadas quando necessário. As partes em crescimento não contêm necessariamente altos teores de poliaminas, embora altas concentrações locais possam ocorrer.

Rajam (1993) sugeriu o uso potencial de DFMO e de outros inibidores da biossíntese de poliaminas no controle de infecções fúngicas em plantas cultivadas, já que estes inibidores impedem ou prejudicam a germinação e o desenvolvimento dos esporos dos fungos causadores de várias doenças nas plantas.

A diamina putrescina foi detectada em folhas de bananeira deficiente em potássio por Freiberg & Steward (1960). Trabalhando com o fruto da bananeira Askar et al. (1972), encontraram putrescina, espermidina, amônia, histamina, metilamina e outros compostos aminados. Yoza et al. (1996) determinaram os níveis de putrescina e espermidina, em frutos verdes de banana tratados com inibidores da biossíntese de poliaminas.

2.3 Estresse mineral e poliaminas

Plantas submetidas a fatores ambientais estressantes apresentam aumento na intensidade da biossíntese de di- e poliaminas, principalmente de putrescina (Strogonov, 1980). Um dos fatores estressantes mais pesquisados é a deficiência de Mg e de K, este ultimo, sendo o fator estudado no presente trabalho, será objeto de referência neste capítulo.

Já se conhece há algum tempo pelos trabalhos clássicos de Richards & Coleman (1952), Smith (1970; 1970a), Basso & Smith (1974), Crocomo & Basso (1974), que a formação de aminas está diretamente ligada à deficiência de potássio em gergelim, cevada, rabanete, espinafre, feijão e outras espécies. Comparadas à putrescina, as concentrações de espermidina e espermina respondem com menos intensidade às condições de estresse mineral. Mais recentemente, estudando os efeitos do estresse salino (NaCl) sobre o comportamento fisiológico de culturas de feijão (*Phaseolus vulgaris*), Broetto (1995) observou acúmulo não somente de putrescina, mas também de espermidina e espermina nos cultivares IAC e Jalo.

Segundo Young & Galston (1983) a biossíntese de putrescina durante a deficiência de K (ou Mg) em plantas superiores, seria uma resposta ao desbalanço iônico

causado pela acidificação do suco celular nestas condições nutricionais, o qual seria compensado pela biossíntese de poliaminas.

Quando Feng & Barker (1993) induziram plantas de tomateiro ao estresse nutricional, utilizando soluções básicas com fontes amoniacais ou nítricas com omissão dos elementos P, K, Ca ou Mg, observaram que nas plantas mantidas em nutrição amoniacal ocorreu acúmulo de altas taxas de putrescina, em comparação àquelas cultivadas em solução básica nítrica. Houve também alta concentração de amônia acompanhada por uma rápida evolução de etileno, quando comparadas com as plantas nutridas com fontes nítricas. Aqueles autores concluíram que a síntese de putrescina foi provavelmente causada pelo acúmulo de amônia nos tecidos, causando estresse. Estes resultados corroboram a hipótese segundo a qual a biossíntese de putrescina pode ser um mecanismo metabólico de desintoxicação de altos níveis de amônia, já que o acúmulo desta é anterior à formação de aminas (Smith, 1990; Slocum & Weinstein, 1990).

Na rota bioquímica de síntese de poliaminas há produção de agmatina, o precursor de putrescina (Smith, 1984). Além desses dois compostos, plantas de *Sesamum indicum* deficientes em K também acumulam N-carbamilputrescina, como foi demonstrado por Crocomo et al. (1970), os quais observaram uma descarboxilação direta de carbamil-¹⁴C-citrulina em N-carbamilputrescina nos extratos de folhas dessa espécie. Em contrapartida não foi detectada atividade radioativa nas folhas das plantas mantidas em solução nutritiva completa. Nas plantas deficientes em K, o aumento de N-carbamilputrescina e de putrescina foi consideravelmente maior do que de agmatina. Esse trabalho corroborou os resultados de Smith & Garraway (1964) e Smith (1965) os quais haviam observado a formação de putrescina a partir de N-carbamilputrescina em cevada, relacionada com a nutrição potássica. Posteriormente, (Crocomo & Basso, 1974) demonstraram que nessas condições, citrulina foi o melhor precursor de putrescina. Uma excelente revisão sobre os trabalhos referentes a putrescina e poliaminas em plantas, com referência ao potássio e também a outros minerais, é encontrada em Smith (1991).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Centro de Biotecnologia de Plantas (CEBTEC), da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), da Universidade de São Paulo (USP). A análise de macro e micronutrientes foi realizada no Departamento de Solos, da ESALQ/USP. A análise de poliaminas foi feita no Depto. de Química e Bioquímica/Instituto de Biociências/UNESP/Campus Botucatu.

3.1 Fonte e preparo dos explantes

No experimento, foram utilizados como fontes de explantes, dois cultivares de bananeira (*Musa* sp., AAA e AAB) cvs. Nanica e Prata Anã, micropropagados *in vitro*, usando-se o meio de cultura contendo os sais minerais de Murashige & Skoog (1962), MS básico, acrescido de vitaminas e de 6-benzilaminopurina (BAP), e o MS modificado, apresentando diferentes concentrações em (mM) de potássio, a saber: 5, 10, 15, 20, 25 e 30 mM K. A concentração de 20 mM K é a existente no MS básico.

As mudas vieram do campo, e para isolar os ápices caulinares, foram reduzidas a cerca de 5,0 cm de altura e 3,0 cm de diâmetro de base, sendo imediatamente mergulhados em solução de hipoclorito de sódio 0,4%. Já no laboratório, foi efetuada uma segunda limpeza nos explantes, sendo dessa vez reduzidos a cerca de 3,0 cm de altura e 2,0 cm de diâmetro de base, sendo mais uma vez mergulhados em nova solução de hipoclorito 0,4%. Após isso, em câmara de fluxo laminar, os explantes foram mergulhados em nova solução de hipoclorito 0,4%, permanecendo nesta por 20 minutos, sendo a seguir lavados quatro vezes em água destilada autoclavada, permanecendo na quarta água.

Com o auxílio de pinça e bisturi, os explantes foram reduzidos a aproximadamente 2,0 cm de altura e 1,5 cm de diâmetro de base, sendo isso feito sobre papel sulfite autoclavado, sendo a seguir inoculados nos meios de cultivo.

Paralelamente, outros ápices caulinares vindos do campo foram isolados e reduzidos ao tamanho apropriado, mas não foram inoculados *in vitro*, sendo imediatamente liofilizados, pesados, moídos e guardados em dissecador, para posteriores análises químicas e bioquímicas.

3.2 Meios de cultura e tratamentos

As composições dos meios de cultura encontram-se de forma resumida na Tabela 1. As concentrações dos nutrientes do MS básico foram mantidas constantes nos meios MS modificados, com exceção do K que variou de 5 a 30 mM, sendo 20 mM a concentração de K existente no MS básico. Essa variação na concentração de K foi feita através da modificação das quantidades dos sais KNO_3 e NH_4NO_3 , sendo mantida constante a concentração do N total em todos os meios, variando a relação $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$.

Todos os meios de proliferação foram adicionados de 2,5 mg/L de 6-benzilaminopurina (BAP), 30,0 g/L de sacarose, 7,0 g/L de agar e vitaminas do MS. Nos meios de enraizamento o BAP foi omitido (Souza et al., 1994). Tanto nos meios de proliferação como nos de enraizamento, foram mantidas as diferentes concentrações de K.

O pH dos meios foi ajustado para 5,7-5,8 e esterilizados em autoclave à temperatura de 120°C, por 20 minutos. Os meios foram distribuídos em quantidade de 50 mL por frasco com capacidade para 500 mL.

Após a desinfestação, os explantes foram inoculados assepticamente em tubos contendo os meios de proliferação com as diferentes concentrações de K, permanecendo aí por 30 dias, em câmara de crescimento, a uma temperatura de 27 ± 1 °C, fotoperíodo de 16/16 h (luz/escuro), com irradiância total de 10 W/m^2 , proveniente de lâmpadas fluorescentes tipo luz do dia e growlux (3:1).

Tabela 1. Concentração dos íons (mM) que compõem o meio MS básico (20 mM K) e os meios MS modificados (5, 10, 15, 25 e 30 mM K).

Íons (mM)	MS Modificado 5 mM K ⁺	MS Modificado 10 mM K ⁺	MS Modificado 15 mM K ⁺	MS Básico 20 mM K⁺	MS Modificado 25 mM K ⁺	MS Modificado 30 mM K ⁺
NO ₃ ⁻	31,8923	34,3982	36,9041	39,4100	41,9159	44,4218
NH ₄ ⁺	28,1344	25,6285	23,1226	20,6167	18,1108	15,6049
N total	60,0267	60,0267	60,0267	60,0267	60,0267	60,0267
PO ₄ ³⁻	1,2489	1,2489	1,2489	1,2489	1,2489	1,2489
K⁺	5,01188	10,0236	15,0354	20,0472	25,0590	30,0708
Ca ²⁺	2,9908	2,9908	2,9908	2,9908	2,9908	2,9908
Mg ²⁺	1,5009	1,5009	1,5009	1,5009	1,5009	1,5009
SO ₄ ²⁻	1,7309	1,7309	1,7309	1,7309	1,7309	1,7309
Cu ²⁺	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Fe ²⁺	0,0999	0,0999	0,0999	0,0999	0,0999	0,0999
Mn ²⁺	0,0999	0,0999	0,0999	0,0999	0,0999	0,0999
Zn ²⁺	0,0299	0,0299	0,0299	0,0299	0,0299	0,0299
BO ₃ ³⁻	0,1019	0,1019	0,1019	0,1019	0,1019	0,1019
MoO ₄ ²⁻	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
I ⁻	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050
Na ⁺	0,2019	0,2019	0,2019	0,2019	0,2019	0,2019
Cl ⁻	5,9818	5,9818	5,9818	5,9818	5,9818	5,9818
Co ²⁺	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
EDTA	0,0999	0,0999	0,0999	0,0999	0,0999	0,0999

Decorridos 30 dias os explantes foram cortados longitudinalmente ao meio e transferidos para meios de proliferação com diferentes concentrações de K, em frascos de vidro com 500 mL de capacidade, tampados com papel alumínio e vedados com filme de polietileno. O material foi cultivado por 30 dias, quando mais uma vez foi feita uma limpeza dos explantes, sendo transferidos para meios frescos. Esse procedimento repetiu-se até que os explantes apresentassem plântulas diferenciadas, que foram então limpas eliminando-se as folhas e transferidas para os meios de enraizamento contendo diferentes

concentrações de K, sendo omitido o BAP. A base dos explantes contendo gemas, foi transferida para meios frescos de proliferação. As plântulas permaneceram no meio de enraizamento por cerca de 90 dias, tempo necessário para emissão de uma quantidade razoável de raízes e desenvolvimento de novas folhas na parte aérea (Figura 2).

As plântulas enraizadas foram coletadas, retirando-se o agar das raízes em água corrente, sendo separadas em parte aérea e raízes, pesadas separadamente, obtendo-se assim os valores da massa de matéria fresca (MMF). Após identificação e acondicionamento em sacos de papel, as plântulas foram levadas até o liofilizador, onde permaneceram por 48 horas, a -50°C , sendo a seguir retiradas e pesadas, obtendo-se os valores da massa de matéria seca (MMS). O material seco de cada tratamento foi dividido em três amostras, em seguida moído, guardado em dissecador e posteriormente utilizado para as análises de macro e micronutrientes, di- e poliaminas (Figura 2).

No presente trabalho, foi considerada como parte aérea das plântulas o conjunto formado por folhas e pseudocaule, e como raiz o conjunto formado por rizoma e raízes. Os valores das plântulas inteiras foram obtidos calculando-se uma média ponderada entre os dados da parte aérea e raiz. Os dados obtidos para os ápices caulinares, correspondem ao do material vindo do campo e que não foi inoculado *in vitro*.

Figura 2. Fluxograma da metodologia seguida.

3.3 Análise química: macro e micronutrientes

Na matéria seca das plântulas cultivadas e enraizadas *in vitro* (parte aérea e raiz separadamente) e dos ápices caulinares do campo, foram determinados os teores de nutrientes usando-se os seguintes métodos: em extrato de digestão sulfúrica, 100 mg de massa de matéria seca, o teor de N total através do método semi-micro-Kjeldahl. Em extrato nitro-perclórico, 500 mg de matéria seca, foi determinado o fósforo pelo método colorimétrico do metavanadato; o potássio por fotometria de chama de emissão; o enxofre por turbidimetria; o cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco por espectrofotometria de absorção atômica (Malavolta et al., 1989).

Os teores de macro e micronutrientes nas plântulas inteiras foi obtido pela média ponderada do teor e da produção de massa de matéria seca da parte aérea e raiz das plântulas.

3.4 Análise bioquímica: di- e poliaminas

A diamina putrescina e as poliaminas espermina e espermidina foram extraídas, isoladas e quantificadas de acordo com o método descrito por Flores & Galston (1982) com algumas modificações, que por sua vez basearam-se no método adaptado para tecidos vegetais por Smith et al. (1978).

3.4.1 Extração

As partes aéreas, raízes e ápices caulinares (100 mg de MMS) dos cvs. Nanica e Prata Anã foram macerados em 5 mL de ácido perclórico 5%, em uma bandeja contendo gelo. Após centrifugação por 10 minutos a 12.100 x g, à 4 °C, o sobrenadante (extrato perclórico), contendo poliaminas livres, foi coletado e estocado à -20 °C.

3.4.2 Dansilação direta

Foram pipetados 200 μL do extrato perclórico em tubos de ensaio, juntamente com 200 μL de uma solução saturada de carbonato de sódio (NaHCO_3) e 400 μL de cloreto de dansil (5-[Dimetilamino]naftaleno 1-sulfonil cloreto) diluído em acetona (5 mg/mL).

Após breve agitação em vortex, os tubos foram mantidos no escuro, à temperatura ambiente por 16 horas. Após este período, adicionou-se 100 μL de uma solução de prolina (100 mg/mL) e incubou-se por 30 minutos para remover o excesso de dansil. A extração das poliaminas dansiladas foi feita em 500 μL de benzeno após agitação em vortex por 30 segundos, coletando-se a fase orgânica (extrato dansilado).

3.4.3 Separação de poliaminas por cromatografia de camada delgada

Foram usadas placas cromatográficas (20 x 20 cm) recobertas por sílicagel 60 G - Merck (250 μm de espessura), as quais haviam sido ativadas a 160 $^{\circ}\text{C}$ por 1,5 horas. Sobre essas placas foram aplicados 2,5 μL do extrato dansilado.

O cromatograma foi desenvolvido em cubas de vidro, utilizando-se clorofórmio:triethylamina (25:2, v/v) como fase móvel. A separação cromatográfica foi acompanhada com luz ultra-violeta (366 nm - Original Hanau Qartzlampen GMBH). Padrões de putrescina, espermina e espermidina (50 nmoles) foram processados paralelamente, nas mesmas condições experimentais, sendo aplicados na placa 15 μL (1,5 nmoles) de uma mistura contendo os três padrões das aminas, com 0,5 nmoles de cada.

3.4.4 Análise quantitativa de poliaminas separadas na cromatografia de camada delgada

As placas desenvolvidas na cromatografia foram secas e submetidas a leitura da intensidade de fluorescência utilizando-se um densitômetro (Cliniscan II - Helena Laboratories). Pela ativação dos compostos dansilados com a luz UV à 365 nm, mediu-se a intensidade de fluorescência das manchas à 507 nm. A interpretação e execução dos cálculos quantitativos foram feitas a partir dos resultados fornecidos pelo densitômetro ao sobrepor a integração dos picos referentes a cada amina das amostras, com aquelas integrações obtidas com os picos dos padrões de di- e poliaminas.

3.5 Delineamento estatístico

Todos os parâmetros avaliados foram analisados segundo um delineamento inteiramente casualizado para 12 tratamentos (2 cultivares e 6 doses de K) com três repetições. Foi realizada uma análise de variância; as médias entre os cultivares foram comparadas pelo teste de Tukey, e para as diferentes concentrações de K (mM) foi feita uma análise de regressão, onde cada ponto nos gráficos corresponde a uma média de três repetições. Foi feita também uma análise de correlação entre os teores de potássio e putrescina. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa SANEST sob orientação do Centro de Informática na Agricultura (CIAGRI) - Campus da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP, Piracicaba - SP, com colaboração do Depto. de Estatística/ESALQ/USP.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Observações visuais

Nas Figuras 3 (A-B) podem ser observadas diferenças visuais em plântulas de bananeira cvs. Nanica e Prata Anã mantidas em diferentes concentrações de potássio (5, 10, 15, 20, 25 e 30 mM), sendo que a concentração 20 mM corresponde àquela encontrada no meio básico de Murashige & Skoog (1962). Nas concentrações mais baixas houve menor número de plântulas e decréscimo no valor da massa de matéria seca.

Figura 3 A. Comportamento da bananeira (*Musa* sp.) cv. Nanica em diferentes doses de K (5 a 30 mM) *in vitro*, com 30 dias no meio de proliferação.

Figura 3 B. Comportamento da bananeira (*Musa* sp.) cv. Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) *in vitro*, com 30 dias no meio de proliferação.

Como se pode observar nas Figuras 3 (A-B), as plântulas mantidas em maiores concentrações de K (a partir de 15 mM) desenvolveram-se melhor tanto visualmente como em termos quantitativos em relação ao número de plântulas e MMS, em ambos cultivares.

As plântulas que se desenvolveram em baixas concentrações de potássio apresentaram sintomas visuais de deficiência desse nutriente (Figura 4 A-B), como clorose e necrose a partir do pecíolo das folhas mais velhas, concordando com aqueles encontrados na literatura (Malavolta et al., 1989). Sintomas como menor desenvolvimento das plântulas começaram a ser observados desde as primeiras semanas do período de enraizamento (90 dias), sendo que a clorose e necrose das folhas mais velhas se estabeleceram definitivamente nas últimas semanas desse período.

A) cv. Nanica: K 5 mM

B) cv. Prata Anã: K 5 mM

Figura 4 A-B. Plântulas de bananeira (*Musa* sp.) cvs. Nanica (A) e Prata Anã (B) cultivadas na menor dose de K (5 mM) *in vitro*, em meio de enraizamento, aos 90 dias, mostrando sintomas de carência deste nutriente, clorose e necrose nas folhas mais velhas (indicadas por setas).

4.2 Número de plântulas e massa de matéria seca

O número de plântulas variou de acordo com as concentrações de K (Figura 5), sendo que no cv. Nanica as concentrações correspondentes a 5 e 15 mM proporcionaram o menor (8,67) e maior (12,33) número, respectivamente. Por outro lado, na cv. Prata Anã , o menor número de plântulas foi obtido em K 25 mM e o maior número em K 15 mM. Como se pode observar na Figura 5, houve uma tendência para o aumento na intensidade de regeneração de plântulas em ambos os cultivares frente às diferentes concentrações de K no meio nutritivo até K 15 mM e nas concentrações subsequentes ocorreu uma diminuição nessa intensidade de regeneração.

Figura 5. Número de plântulas diferenciadas dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM), após 30 dias de cultivo em meio de proliferação.

Os valores mais elevados de MMS (Figura 6) foram obtidos na parte aérea de ambos os cultivares quando os mesmos foram mantidos em K 20 mM (média de 146,53 mg/plântula para cv. Nanica e 112,22 mg/plântula para cv. Prata Anã), sendo que os menores foram observados em K 5 mM (média de 82,32 mg/plântula para o cv. Nanica e 80,39 mg/plântula para o cv. Prata Anã).

K (mM)	5	10	15	20	25	30	Média K 5 a 30
Nanica	82,32	88,02	92,75	146,53	132,20	132,56	112,39 a*
Prata Anã	80,39	95,35	102,70	112,22	110,67	97,97	9,88 b*

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey. (Média K 5 a 30 M): DMS 5%=11,70 e 1%=15,87; CV=16,029%

Figura 6. Massa de matéria seca na parte aérea de plântulas de bananeira cvs. Nanica e Prata Anã cultivadas em diferentes doses de K (5 a 30 mM), após 90 dias em meio de enraizamento.

Na raiz, para o cv. Nanica, K 30 mM determinou o maior valor para MMS e K 5 mM o menor; já o cv Prata Anã apresentou maior MMS em K 15 mM e o menor valor também em K 5 mM (Figura 7). Esses valores indicam que o cv. Nanica é mais exigente em K do que o cv. Prata Anã, uma vez que exigiu níveis mais elevados de K (30 mM) para maior desenvolvimento de seu sistema radicular do que o cv. Prata Anã (15 mM).

K (mM)	5	10	15	20	25	30
Nanica	38,48 a	82,93 a	66,66 b*	103,89 a	86,80 a	108,37 a
Prata Anã	57,22 a	72,03 a	95,65 a*	82,63 a	89,20 a	89,43 a

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey. (K 5 a 30 mM): DMS 5%=23,43 e 1%=31,78; CV=17,138%

Figura 7. Massa de matéria seca na raiz de plântulas de bananeira cvs. Nanica e Prata Anã cultivadas em diferentes doses de K (5 a 30 mM), após 90 dias em meio de enraizamento.

Na plântula inteira, a MMS do cv. Nanica variou de 120,80 a 240,93 mg/plântula de K 5 a 30 mM. No cv. Prata Anã foi de 137,61 a 187,40 mg/plântula. Não houve diferença estatística entre a MMS dos cultivares ao nível de 5% em K 5, 10, 15 e 25 mM, mas ocorreu diferença significativa ao nível de 5% em K 20 e 30 mM (Figura 8).

K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
Nanica	120,80 a	170,95 a	159,41 a	250,42 a*	219,00 a	240,93 a*	106,00±8,54 a*
Prata Anã	137,61 a	167,38 a	198,35 a	194,85 b*	199,88 a	187,40 b*	79,67±7,77 b*

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(K 5 a 30 mM): DMS 5%=45,96 e 1%=62,33; CV=14,56%; (Ápice): DMS 5%=18,52; CV=8,79%

Figura 8. Massa de matéria seca nas plântulas inteiras dos cvs. Nanica e Prata Anã cultivadas em diferentes doses de K (5 a 30 mM), após 90 dias em meio de enraizamento. Massa de matéria seca no ápice caulinar de ambos os cultivares.

Os dados anteriormente mostrados demonstram que *in vitro* ocorreu uma relação direta entre o desenvolvimento de plântulas de bananeira e as concentrações de K.

Segundo Malavolta & Crocomo (1982), o potássio estimula vegetação e perfilhamento em gramíneas, aumenta teor de carboidratos, óleos, gorduras e proteínas, aumenta a utilização de água e está relacionado com os processos de abertura e fechamento dos estômatos, fotossíntese, transporte de carboidratos e outros produtos, respiração, sínteses e fixação simbiótica do nitrogênio.

Esses fenômenos fisiológicos estariam praticamente otimizados em concentrações ótimas de K nas soluções nutritivas idênticas àquela do MS básico, ou seja, ao redor de 20 mM. Abaixo dessa concentração o metabolismo da plântula em ambos os cultivares de bananeira afetam as vias metabólicas relacionadas com o catabolismo de compostos

nitrogenados levando à formação de di- e poliaminas, principalmente putrescina (Malavolta & Crocomo, 1982), como será apresentado e discutido mais adiante.

Por outro lado, as plântulas de ambos os cultivares crescendo em concentrações de K mais elevadas do que 20 mM apresentaram-se bastante desenvolvidas com aparente “alimentação de luxo” (Malavolta, 1980).

4.3 Macronutrientes e micronutrientes

4.3.1 Comportamento do potássio nas plântulas *in vitro* e nos ápices caulinares

Tanto o teor de K (g/kg MMS), como o K acumulado (mg/plântula), na parte aérea, raiz e plântula inteira de ambos os cultivares, apresentaram valores crescentes, diretamente proporcionais ao aumento das concentrações desse elemento nos meios de cultivo *in vitro*, o que pode ser observado nas Figuras 9 (A-B) a 11 (A-B).

Teor e acúmulo de potássio - Na parte aérea (Figura 9-A) do cv. Nanica, os teores de K variaram de 17,13 a 53,03 g/kg MMS, enquanto que no cv. Prata Anã variaram de 16,9 a 53,17 g/kg MMS nas concentrações de K 5 a 30 mM; em K 20 mM, esse valor foi 36,90 g/kg MMS no cv. Nanica e 28,17 g/kg MMS no cv. Prata Anã. Não houve diferença estatística entre os cultivares, com exceção de K 20 mM e K 25 mM, onde a diferença foi ao nível de 1% (Tukey).

O acúmulo de potássio na parte aérea (Figura 9-B) do cv. Nanica variou de 1,41 a 7,06 mg/parte aérea em K 5 a 30 mM e no cv. Prata Anã variou de 1,37 a 5,22 mg/parte aérea. Não houve diferença significativa entre os cultivares de K 5 a 15 mM ao nível de 5%, mas houve de K 20 a 30 mM ao nível de 1%.

Na raiz (Figura 10-A), os teores de K variaram de 19,03 a 40,20 g/kg MMS no cv. Nanica e de 18,40 a 43,67 g/kg MMS no cv. Prata Anã, quando a concentração de K variou de K 5 a 30 mM, sendo que em K 20 mM foi de 31,43 g/kg MMS no cv. Nanica e 22,87 g/kg MMS no cv. Prata Anã. Não houve diferença estatística entre os cultivares em K 5 e 15 mM, mas sim em K 10, 20 e 25 mM ao nível de 1% e em K 30 mM ao nível de 5%.

O acúmulo de potássio na raiz (Figura 10-B) do cv. Nanica variou de 0,73 a 4,35 mg/raiz e no cv. Prata Anã variou de 1,05 a 3,89 mg/raiz em K 5 a 30 mM. Não houve diferença estatística entre os cultivares em K 5, 10 e 30 mM, sendo que houve diferença estatística ao nível de 5 % em K 15 e 25 mM; ao nível de 1% ocorreu diferença em K 20 mM.

Quanto aos ápices caulinares (Figuras 9-B a 11-B). da plantas adultas vindas do campo e doadoras dos explantes, os teores de K foram de 66,73 g/kg MMS no cv. Nanica e de 77,13 g/kg MMS no cv. Prata Anã, havendo diferença estatística entre ambos os cultivares ao nível de 1%. O valor do potássio acumulado foi de 7,07 mg/ápice no cv. Nanica e no cv. Prata Anã foi de 6,14 mg/ápice, não havendo diferença significativa ao nível de 5%.

K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
A) Nanica	17,13 a	23,40 a	30,70 a	36,90 a**	43,17 a**	53,03 a	66,73±1,78 b**
Prata Anã	16,90 a	24,27 a	28,43 a	28,17 b**	30,63 b**	53,17 a	77,13±1,33 a**
B) Nanica	1,41 a	2,07 a	2,83 a	5,41 a**	5,71 a**	7,06 a**	7,07±0,56 a
Prata Anã	1,37 a	2,31 a	2,91 a	3,18 b**	3,38 b**	5,22 b**	6,14±0,59 a

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS 5%=3,559 e 1%=4,827; CV=6,56%. (A - Ápice): DMS 1%=5,905; CV=2,18%

(B - K 5 a 30 mM): DMS 5%=1,280 e 1%=1,736; CV=6,56%. (B - Ápice): DMS 5%=1,319; CV=8,80%

Figura 9 A-B. Teor (A) e acúmulo (B) de K na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Na plântula inteira (Figura 11-A), os teores de K variaram de 17,78 a 47,26 g/kg MMS no cv. Nanica em K 5 a 30 mM e no cv. Prata Anã de 17,54 a 48,68 g/kg MMS em K 5 a 30 mM, sendo que em K 20 mM foi de 34,67 g/kg MMS no cv. Nanica e de 26,03

g/kg MMS no cv. Prata Anã. Não foi detectada diferença estatística entre os cultivares em K 5, 15 e 30 mM, mas sim em K 10, 20 e 25 mM ao nível de 1%.

Na plântula inteira, o acúmulo de K (Figura 11 B) variou de 2,14 a 11,42 mg/plântula no cv. Nanica e de 2,43 a 9,11 mg/plântula no cv. Prata Anã. Não houve diferença estatística entre os cultivares em K 5 a 15 mM ao nível de 5% e houve diferença de K 20 a 30 mM ao nível de 1%.

K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
A) Nanica	19,03 a	19,37 b**	26,83 a	31,43 a**	40,63 a**	40,20 b*	66,73±1,78 b**
Prata Anã	18,40 a	26,07 a**	25,83 a	22,87 b**	30,17 b**	43,67 a*	77,13±1,33 a**
B) Nanica	0,73 a	1,60 a	1,79 b*	3,24 a**	3,50 a*	4,35 a	7,07±0,56 a
Prata Anã	1,05 a	1,87 a	2,47 a*	1,88 b**	2,68 b*	3,89 a	6,14±0,59 a

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=2,826 e 1%=3,833; CV=5,84%. (A - Ápice): DMS a 1%=5,905; CV=2,18%

(B - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,652 e 1%=0,884; CV=15,95%. (B - Ápice): DMS a 5%=1,319; CV=8,80%

Figura 10 A-B. Teor (A) e acúmulo (B) de K na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Deve-se considerar, dentro de certos limites, que aumentando-se a concentração de K^+ na solução de solo, ocorre aumento na quantidade absorvida desse elemento (Malavolta, 1982).

Em todas as concentrações de K observaram-se em ambos os cultivares menores concentrações de K nas raízes, quando comparadas com a parte aérea, o que indica que provavelmente este nutriente não se acumula e sim é translocado para outras partes da plântula, fato também observado por Diniz (1997) no cv. Prata Anã *in vitro*.

	K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
A) Nanica		17,78 a	21,47 b**	28,91 a	34,67 a**	42,16 a**	47,26 a	66,73±1,78 b**
Prata Anã		17,54 a	25,03 a**	27,17 a	26,03 b**	30,44 b**	48,68 a	77,13±1,33 a**
B) Nanica		2,14 a	3,67 a	4,62 a	8,65 a**	9,22 a**	11,41 a**	7,07±0,56 a
Prata Anã		2,43 a	4,18 a	5,38 a	5,06 b**	6,06 b**	9,11 b**	6,14±0,59 a

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey
(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=2,48 e 1%=3,36; CV=4,81%. (B - Ápice): DMS a 1%=5,905; CV=2,18%
(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=1,62 e 1%=2,20; CV=16,04%. (B - Ápice): DMS a 1%=1,319; CV=8,80%

Figura 11 A-B. Teor (A) e acúmulo (B) de K na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Do K-total na planta, cerca de 70% se encontra em forma iônica na célula e pode ser retirado pela água, e os 30% restante são adsorvidos a proteínas que podem ser facilmente liberadas. Não se conhece um só composto orgânico do qual o K faça parte (Malavolta, 1976).

Diniz (1997) trabalhando com o cv. Prata Anã *in vitro*, mantido em MS básico (o qual contém 20 mM de K) observou que aos 60 dias de cultivo, 41,3% do K inicial adicionado ainda permanecia no meio, sugerindo que a quantidade fornecida foi suficiente para suprir as exigências das plântulas. Esses dados estão de acordo com o presente experimento, onde os sintomas de deficiência haviam se intensificado nas menores concentrações de K aos 90 dias de cultivo em meio de enraizamento, quando então as plântulas foram coletadas e analisadas.

O K^+ é absorvido pelas células das plantas em duas etapas (Malavolta & Crocomo, 1982), a primeira delas sendo a etapa passiva pela qual, através de um processo rápido e reversível, os íons K atravessam os espaços intercelulares passando para a parede celular atingindo o plasmalema. A outra etapa exige energia sob forma de trifosfato de adenosina (ATP), é a etapa ativa; ocorreria simultaneamente a uma bomba eletrogênica de protons que interagiria com a absorção de íons K. A enzima ATPase estaria também comprometida nesse processo de sua absorção, sendo que íons K estimulam a hidrólise de ATP interagindo com ATPase em alguns passos da reação enzimática (Briskin, 1995). Por outro lado, a absorção de íons K pelas raízes se dá quando a concentração dos mesmos na solução do solo está entre 2 e 6 ppm, sendo que a sua absorção é mais rápida quando presente em concentração 1 mM, em obediência à cinética michaeliana. Entretanto, a absorção de íons K quando em concentrações mais elevadas na solução do solo, ocorreria segundo um padrão duplo de transporte (Epstein & Rains, 1965 e Epstein, 1975): inicialmente, obedeceria a cinética de Michaelis-Menten (mecanismo 1, para concentrações mais baixas) seguida pelo mecanismo 2 com vários sítios ativos, apresentando numerosos pontos de inflexão. Esse mesmo comportamento (mecanismo “duplo”) é observado para a atividade de ATPase na membrana citoplasmática (Bowling, 1976).

Os dados obtidos, no presente trabalho, relativos ao comportamento dos cvs. Nanica e Prata Anã frente a concentrações cada vez mais elevadas de K no meio de cultura, hipoteticamente indicam que, à luz do acima apresentado, os teores de potássio e

o seu acúmulo em várias partes da plântula, inclusive considerando-se a plântula inteira, pode ter sido consequência, no caso do cv. Prata Anã, de um mecanismo duplo de absorção continuamente ocorrido durante todo o período dos ensaios, em todos os tratamentos, uma vez que a menor concentração de K foi 5 mM, a qual é superior àquela indicada por Epstein (1975) como responsável pela cinética michaeliana.

Por outro lado, o cv. Nanica apresentou um comportamento um pouco diferente, antecipando a existência de um mecanismo mais complexo de absorção de potássio. Em relação ao acúmulo de potássio, a intensidade de absorção ocorreria segundo um mecanismo triplo (Epstein, 1975). Essas observações devem ser corroboradas futuramente e estariam indicando uma diferença genético/fisiológica entre os dois cultivares estudados.

4.3.2 Relação do potássio com outros nutrientes

Os valores das relações foram crescentes entre o potássio e todos os outros macro e micronutrientes, a medida que aumentavam as concentrações de K nos meios de cultivo *in vitro*, em ambos os cultivares, tanto na parte aérea, raiz, como na plântula inteira (Figuras 12-16). Os teores e valores de acúmulo de macro e micronutrientes encontrados no presente trabalho são corroborados pelos obtidos por Diniz (1997) em experimento colhido ao longo de 60 dias com o cv. Prata Anã *in vitro*, usando MS básico (20 mM K).

Relação N/K - Em seu trabalho Diniz (1997) observou que a relação N/K se manteve praticamente constante, com valores em torno de 0,75 para plântula inteira; 1 para raízes e 0,68 para parte aérea. No presente trabalho, a parte aérea do cv. Nanica apresentou N/K 1,43 em presença de K 20 mM e para o cv. Prata Anã, 1,37 (Figura 12-A). Na Figura 12-B encontram-se os teores de N na parte aérea e no ápice dos cultivares.

K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
A) Nanica	4,10 a**	2,62 a**	1,87 a**	1,43 a	1,08 b**	0,77 a	0,51±0,01 a**
Prata Anã	3,38 b**	2,02 b**	1,18 b**	1,37 a	1,51 a**	0,68 a	0,38±0,02 b**
B) Nanica	69,97 a**	61,37 a**	57,23 a**	52,83 a**	46,37 a	40,67 a*	34,19±0,00 a**
Prata Anã	56,87 b**	49,03 b**	33,60 b**	38,10 b**	46,40 a	36,17 b*	29,04±1,09 b**

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,278 e 1%=0,378; CV=9,01%. (A - Ápice): DMS a 1%=0,0613; CV=3,65%

(B - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=4,19 e 1%=5,69; CV=5,075%. (B - Ápice): DMS a 1%=2,99; CV=2,51%

Figura 12 A-B: Relação N/K (A) e teores de N (B) na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares

Esses valores foram obtidos tanto para o parâmetro teor de K quanto para o acúmulo de K. Portanto, ao que tudo indica, na presença dessa concentração de K, a intensidade de absorção de N foi maior levando a um incremento no metabolismo de compostos nitrogenados, o que pode ser visualizado também pelo teor de massa de matéria seca (Figura 5).

Nas outras concentrações de K, ocorreu uma grande variação nos valores da relação N/K na parte aérea das plântulas. Assim, nas concentrações de K 5 mM a K 30 mM a relação N/K variou de 4,08 a 0,77 no cv. Nanica e de 3,36 a 0,68 no cv. Prata Anã. Portanto, abaixo de K 20 mM, os cultivares apresentaram relações N/K estatisticamente diferentes ao nível de 1%. Por outro lado, valores acima de K 20 mM determinaram uma tendência das relações N/K entre os cultivares serem estatisticamente iguais ao nível de 5%, com exceção de K 25 mM onde houve diferença a 1%.

Esses valores estão indicando que à medida que o potássio está mais disponível (ou seja, em maiores quantidades) no meio de cultura, e o fornecimento de N se manteve constante, as plântulas em presença de menores concentrações de K apresentaram menor desenvolvimento (Figura 3), consequentemente o teor de N nessas plântulas foi maior. Por outro lado, em presença de teores mais elevados de K, as plântulas se desenvolveram mais, apresentando um efeito de diluição do N; nessa plântulas o teor de N foi menor (Figura 12-B).

Nas raízes (Figura 13-A), a relação N/K nas concentrações de K 5 mM a K 30 mM variou de 2,02 a 0,55 no cv. Nanica e de 1,69 a 0,42 no cv. Prata Anã, sendo que em K 20 mM, N/K foi de 0,82 no cv. Nanica e 0,81 no cv. Prata Anã. Portanto, abaixo de K 20 mM, os cultivares apresentaram relações N/K estatisticamente diferentes ao nível de 1%. Valores acima de K 20 mM determinaram uma tendência das relações N/K entre os cultivares serem estatisticamente iguais ao nível de 5% , com exceção de K 25 mM onde houve diferença a 5%. Na Figura 13-B estão os teores de N na raiz e ápice de ambos os cultivares.

K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
A) Nanica	2,02 a**	1,41 a**	0,90 a**	0,82 a	0,68 b*	0,55 a	0,51±0,01 a**
Prata Anã	1,69 b**	0,94 b**	0,66 b**	0,81 a	0,85 a*	0,42 a	0,38±0,02 b**
B) Nanica	38,37 a**	27,20 a*	24,10 a**	25,63 a**	27,43 a	22,03 a**	34,19±0,00 a**
Prata Anã	30,93 b**	24,53 b*	16,90 b**	18,30 b**	25,47 a	18,13 b**	29,04±1,09 b**

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,154 e 1%=0,0209; CV=9,38%. (A - Ápice): DMS a 1%=0,0613; CV=3,65%

(B - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=2,36 e 1%=3,21; CV=5,63%. (B - Ápice): DMS a 1%=2,99; CV=2,51%

Figura 13 A-B. Relação N/K (A) e teores de N (B) na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Em seu trabalho, Diniz (1997) encontrou $N/K=1$ para o cv. Prata Anã em K 20 mM, valor esse próximo daquele observado no presente trabalho. Comparando-se os valores de N/K encontrados para parte aérea com os das raízes, observa-se que, no presente trabalho, as condições dos meios de cultura proporcionaram uma translocação mais intensa de ambos os nutrientes das raízes (fonte: pouca acumulação dos mesmos) para a parte aérea (reservatório: maior acúmulo de ambos) favorecendo um maior desenvolvimento das plântulas *in vitro* de ambos os cultivares.

Considerando-se os valores de N/K para plântulas inteiras (Figura 14-A), nas concentrações de K 5 a 30 mM os mesmos variaram de 3,37 a 0,68 para o cv. Nanica e de 2,63 a 0,56 para o cv. Prata Anã, sendo que em K 20 mM, o valor foi de 1,20 para o cv. Nanica e 1,15 para o cv. Prata Anã. Portanto, abaixo de K 20 mM, os cultivares apresentaram relações N/K estatisticamente diferentes ao nível de 1%. Por outro lado, valores acima de K 20 mM determinaram uma tendência das relações N/K entre os cultivares serem estatisticamente iguais ao nível de 5%, com exceção de de K 25 mM onde houve diferença a 1%. Na Figura 14-B estão os teores de N na plântula inteira e no ápice de ambos os cultivares.

	K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
A) Nanica		3,37 a**	2,09 a**	1,50 a**	1,20 a	0,92 b**	0,68 a	0,51±0,01 a**
Prata Anã		2,63 b**	1,54 b**	0,94 b**	1,15 a	1,22 a**	0,56 a	0,38±0,02 b**
B) Nanica		59,90 a**	44,91 a**	43,34 a**	41,72 a**	38,93 a	32,30 a*	34,19±0,00 a**
Prata Anã		46,04 b**	38,48 b**	25,54 b**	29,75 b**	37,04 a	27,57 b*	29,0±1,09 b**

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,167 e 1%=0,226; CV=6,67%. (A - Ápice): DMS a 1%=0,0613; CV=3,65%

(B - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=3,76 e 1%=5,10; CV=5,75%. (B - Ápice): DMS a 1%=2,99; CV=2,51%

Figura 14 A-B. Relação N/K (A) e teores de N (B) na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Na concentração de K 20 mM, Diniz (1997) obteve N/K de 0,75, valor esse que se manteve constante ao longo do seu experimento: 60 dias, com coletas em intervalos de 10 dias. Os valores N/K do presente trabalho para plântulas inteiras indicam uma vez mais o intensa translocação de K e de N das raízes para a parte aérea, como foi discutido no parágrafo anterior.

Nos ápices caulinares das plantas doadoras de explantes a relação N/K foi de 0,51 no cv. Nanica e de 0,38 no cv. Prata Anã, com diferença significativa ao nível de 1%. Esses valores estão enfatizando que na realidade as plantas de bananeira são excelentes fontes de potássio, principalmente os seus frutos e que os explantes inoculados in vitro já levam um alto teor desse nutriente: 66,73 g/kg MMS (correspondente a 6,67%) no cv. Nanica e 77,13 g/kg MMS (correspondente a 7,71%). Esses últimos valores corroboram aqueles encontrados por Neves et al. (1991) para o cv. Pacovan, onde em rebentos o teor de potássio foi de 7,52% em plantas adubadas com altas doses desse nutriente.

Relação K/P - Diniz (1997) observou que no cv. Prata Anã, a relação K/P apresentou valores que variaram ao longo de 60 dias, de 8 a 12 na parte aérea, 10 a 15 nas raízes e 10 a 11 na plântula inteira.

Na parte aérea (Figura 15-A) das plântulas de bananeira estudadas no presente trabalho, foi encontrada no cv. Nanica uma relação K/P que, nas concentrações de K 5 a 30 mM, variou de 3,70 a 17,68, sendo que em K 20 mM foi de 11,41, enquanto que para o cv. Prata Anã variou de 4,26 a 19,45 sendo que em K 20 mM foi de 10,30. Portanto, os cultivares não apresentaram relações K/P estatisticamente diferentes ao nível de 5%, nas diferentes concentrações de K, com exceção de K 25 mM onde houve diferença à 1%. Na Figura 15-B estão os teores de P na parte aérea e nos ápices caulinares de ambos os cultivares.

	K (mM)	5	10	15	20	25	30	Média K 5 ⁻³⁰	Ápice
A) Nanica		3,71 a	7,48 a	10,06 a	11,64 a	15,52 a**	17,86 a	11,04	7,31±0,24 b**
Prata Anã		4,26 a	8,09 a	11,23 a	10,28 a	10,60 b**	19,45 a	10,65	8,21±0,14 a**
B) Nanica		4,63	3,13	3,07	3,23	2,80	3,00	3,31 a**	9,13±0,06 b**
Prata Anã		3,97	3,00	2,53	2,73	2,90	2,73	2,97 b**	9,40±0,00 a**

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=1,824 e 1%=2,474; CV=9,97%. (A - Ápice): DMS a 1%=0,747; CV=2,56%

(B - Média K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,219 e 1%=0,297; CV=10,12%. (B - Ápice): DMS a 1%=0,216; CV=0,623%

Figura 15 A-B. Relação K/P (A) e teores de P (B) na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Os valores dessas relações estão indicando que ocorreu uma maior absorção de potássio do que de fósforo em ambos os cultivares. Sabe-se que plantas de bananeiras requerem quantidades elevadas de potássio para se obter alta produtividade, o que explica os seus altos teores na parte aérea de ambos os cultivares, onde na realidade todas as fases do metabolismo celular tem lugar com mais intensidade. Lembre-se que as folhas verdes constituem-se no celeiro dos produtos da fotossíntese, distribuindo-os para outras partes da planta e que o potássio está comprometido com reações enzimáticas das quais o fósforo participa, reações essas pertinentes ao metabolismo de carboidratos (fotossíntese, glicólise, respiração, etc.) e de compostos de compostos nitrogenados (síntese de proteínas, por ex.).

Nas raízes (Figura 16-A), a relação K/P nas concentrações de K 5 a 30 mM variou de 5,03 a 18,63 no cv. Nanica e de 5,26 a 18,20 no cv. Prata Anã, sendo que em K 20 mM, K/P foi de 12,09 no cv. Nanica e 10,72 no cv. Prata Anã. Portanto, os cultivares não apresentaram relações K/P estatisticamente diferentes ao nível de 5%, nas diferentes concentrações de K, com exceção de K 25 mM onde houve diferença à 1%. Na Figura 16-B estão os teores de P na raiz e no ápice de ambos os cultivares.

	K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
A) Nanica		5,03 a	8,54 a	12,03 a	12,09 a	15,33 a**	18,63 a	7,31±0,24 b**
Prata Anã		5,26 a	9,73 a	12,70 a	10,72 a	12,63 b**	18,20 a	8,21±0,14 a**
B) Nanica		3,80 a	2,27 b*	2,23 a	2,60 a**	2,67 a	2,17 a	9,13±0,06 b**
Prata Anã		3,50 a	2,70 a*	2,03 a	2,13 b**	2,40 a	2,40 a	9,40±0,00 a**

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=1,603 e 1%=2,174; CV=8,09%. (A - Ápice): DMS a 1%=0,747; CV=2,56%

(B - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,219 e 1%=0,297; CV=10,12%. (B - Ápice): DMS a 1%=0,216; CV=0,62%

Figura 16. Relação K/P (A) e teores de P (B) na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Considerando-se os valores de K/P para plântulas inteiras (Figura 17-A), nas concentrações de K 5 a 30 mM os mesmos variaram de 4,08 a 18,13 para o cv. Nanica e de 4,65 a 18,89 para o cv. Prata Anã, sendo que em K 20 mM, o valor foi de 11,69 para

o cv. Nanica e 10,49 para o cv. Prata Anã. Os cultivares não apresentaram relações K/P estatisticamente diferentes ao nível de 5%, nas diferentes concentrações de K, com exceção de K 25 mM onde houve diferença à 1%. Na Figura 17-B estão os teores de P na plântula inteira e nos ápices de ambos os cultivares.

	K (mM)	5	10	15	20	25	30	Média K 5 a 30	Ápice
A) Nanica		4,08 a	7,91 a	10,72 a	11,69 a	15,39 a**	18,13 a	11,31	7,31±0,24 b**
Prata Anã		4,65 a	8,74 a	11,86 a	10,49 a	11,42 b**	18,89 a	11,00	8,21±0,14 a**
B) Nanica		4,37	2,71	2,70	2,99	2,75	2,63	3,02 a**	9,13±0,06 b**
Prata Anã		3,77	2,87	2,29	2,48	2,67	2,58	2,77 b**	9,40±0,00 a**

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=1,46 e 1%=1,98; CV=7,77%. (A - Ápice): DMS a 1%=0,747; CV=2,56%

(B - Média K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,172 e 1%=0,233; CV=8,62%. (B - Ápice): DMS a 1%=0,216; CV=0,62%

Figura 17 A-B. Relação K/P (A) e teores de P (B) na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Nos ápices caulinares originais a relação K/P foi de 7,31 no cv. Nanica e 8,21 no cv. Prata Anã, ocorrendo diferença estatística ao nível de 1%. Do mesmo modo que na relação N/K, aqui também os valores de K/P indicam que o potássio suplanta em valores relativos aqueles do fósforo.

Os valores da relação K/P estão indicando que o potássio foi mais intensamente absorvido do que o fósforo. Uma explicação possível seria a de que no meio de cultura houve uma maior disponibilidade desse nutriente às plântulas. Por outro lado, o fósforo poderia ter sido mais rapidamente consumido do que o potássio, levando a uma queda de seu teor no meio de cultura ao longo do tempo em que as plântulas eram mantidas *in vitro*. Portanto, os teores mais baixos de fósforo detectados seja na parte aérea ou raízes seja nas plântulas inteiras, estariam indicando que, como Williamms(1993) observou em suas abordagens mecanicistas sobre a nutrição mineral *in vitro*, ocorreu uma diminuição da absorção líquida de P levando a um efeito de diluição de seu teor pelo crescimento das plântulas. Segundo Marchal et al. (1988) e Diniz (1997) o meio de cultura Murashige & Skoog deve ser enriquecido com P para suprir as necessidades da bananeira cultivada *in vitro*.

Relações K/Ca e K/Mg - Na parte aérea do cv. Nanica a relação K/Ca foi de 3,2 a 6,44 em K 5 a 30 mM e no cv. Prata Anã, 2,75 a 7,81 (Figura 18-A). Por sua vez, a relação K/Mg foi de 8,71 a 23,75 em K 5 a 30 mM no cv. Nanica e de 9,22 a 27,98 em K 5 a 30 mM no cv. Prata Anã (Figura 19-A). A análise estatística demonstrou não haver diferença significativa entre cultivares em K 5, 15 e 20 mM para a relação K/Ca ao nível de 5% e houve diferença em K 10, 25 e 30 mM ao nível de 1%. Para a relação K/Mg foi detectada diferença significativa entre os cultivares ao nível de 1% em todas as concentrações de K. Nas Figuras 18-B e 19-B estão os teores de Ca e Mg na parte aérea e ápice de ambos os cultivares.

	K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
A) Nanica		3,02 a	2,97 b**	3,46 a	4,71 a	5,96 a**	6,44 b**	50,24±3,29 a
Prata Anã		2,75 a	4,09 a**	3,81 a	4,21 a	4,66 b**	7,81 a**	50,58±4,30 a
B) Nanica		5,7 a	7,9 a**	8,90 a**	7,87 a**	7,27 a	8,23 a**	1,33±0,12 a
Prata Anã		6,20 a	5,93 b**	7,47 b**	6,77 b**	6,60 a	6,83 **	1,53±0,15 a

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,749 e 1%=1,016; CV=9,90%. (A - Ápice): DMS a 5%=8,678; CV=7,587%

(B - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,74 e 1%=1,00; CV=6,15%. (B - Ápice): DMS a 5%=0,50; CV=9,44%

Figura 18 A-B. Relação K/Ca (A) e teores de Ca (B) na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - Média K 5 a 30 mM): DMS a 1%=1,52; CV=9,37%. (A - Ápice): DMS a 1%=2,04; CV=2,20%

(B - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,24 e 1%=0,32; CV=7,64%. (B - Ápice): DMS a 5%=0,13; CV=1,99%

Figura 19 A-B. Relação K/Mg (A) e teores de Mg (B) na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Na raiz, de K 5 mM a 30 mM, a relação K/Ca variou de 5,95 a 12,21 no cv. Nanica e de 6,16 a 15,80 no cv. Prata Anã (Figura 20-A). Para a relação K/Mg, de K 5 a 30 mM, a variação foi de 8,78 a 34,46 no cv. Nanica e de 8,0 a 42,35 no cv. Prata Anã (Figura 21-A). Na relação K/Ca não houve diferença estatística entre cultivares ao nível de 5% em K 5, 15 e 20 mM, mas ocorreu diferença significativa ao nível de 1% em K 10 e 30 mM e ao nível de 5% em K 25 mM. Na relação K/Mg com exceção de K 10 e 30 mM onde foi detectada diferença ao nível de 1%, não houve diferença estatística entre os cultivares. Nas Figuras 20-B e 21-B estão os teores de Ca e Mg na raiz e ápice de ambos

os cultivares. A análise de regressão polinomial para teores de Ca na raiz de ambos os cultivares foi não significativa ao nível de 5% para todos os graus de polinômio.

K (mM)	5	10	15	20	25	30	Média K 5 a 30	Ápice
A) Nanica	5,95 a	5,53 b**	9,04 a	8,60 a	12,07 a*	12,21 b**	8,90	50,24±3,29 a
Prata Anã	6,16 a	8,18 a**	8,91 a	7,48 a	10,52 b*	15,80 a**	9,51	50,58±4,30 a
B) Nanica	3,20	3,50	2,97	3,67	3,37	3,30	3,33 a**	1,33±0,12 a
Prata Anã	3,00	3,27	2,90	3,07	2,87	2,77	2,97 b**	1,53±0,15 a

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 1%=0,21; CV=7,39%. (A - Ápice): DMS a 5%=8,678; CV=7,587%

(B - Média K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,74 e 1%=1,00; CV=6,15%. (B - Ápice): DMS a 5%=0,50; CV=9,44%

Figura 20 A-B. Relação K/Ca (A) e teores de Ca (B) na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

	K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
A) Nanica		8,78	9,72	17,66	26,90	36,94	34,46	23,01±0,61 b**
Prata Anã		8,00	17,38	18,90	26,85	38,02	42,35	26,30±0,46 a**
B) Nanica		2,17	2,00	1,53	1,17	1,10	1,17	2,86±0,00 a
Prata Anã		2,30	1,50	1,37	0,86	0,80	1,03	2,93±0,06 a

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=3,74 e 1%=5,07; CV=9,32%. (A - Ápice): DMS a 1%=2,04; CV=2,20%

(B - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,16 e 1%=0,22; CV=6,86%. (B - Ápice): DMS a 5%=0,13; CV=1,99%

Figura 21 A-B. Relação K/Mg (A) e teores de Mg (B) na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Na plântula inteira, em concentrações de K entre 5 e 30 mM, K/Ca variou de 3,63 a 7,89 no cv. Nanica e de 3,63 a 9,93 no cv. Prata Anã (Figura 22-A). A relação K/Mg, variou de 8,78 a 26,99 no cv. Nanica e de 8,73 a 32,62 no cv. Prata Anã (Figura 23-A). Não houve diferença estatística entre cultivares ao nível de 5% na relação K/Ca em presença de K 5, 15 e 20 mM, mas houve diferença estatística ao nível de 1% em K 10, 25 e 30 mM. Quanto à relação K/Mg, houve diferença significativa entre cultivares em K 10, 25 e 30 mM ao nível de 1% e não houve em K 5, 15 e 20 mM ao nível de 5%. Nas

Figuras 22-B e 23-B estão os teores de Ca e Mg na plântula inteira e ápice de ambos os cultivares. A análise de regressão polinomial para teores de Ca na plântula inteira do cv. Prata Anã foi não significativa ao nível de 5% para todos os graus de equação.

	K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
A) Nanica		3,63 a	3,73 b**	4,53 a	5,68 a	7,37 a**	7,89 b**	50,24±3,29 a
Prata Anã		3,63 a	5,24 a**	5,17 a	5,03 a	6,19 b**	9,93 a**	50,58±4,30 a
B) Nanica		4,89 a	5,76 a**	6,43 a**	6,11 a**	5,73 a**	5,99 a**	1,33±0,12 a
Prata Anã		4,86 a	4,78 b**	5,26 b**	5,19 b**	4,92 b**	4,92 b**	1,53±0,15 a

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,69 e 1%=0,93; CV=7,23%. (A - Ápice): DMS a 5%=8,678; CV=7,587%

(B - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,51 e 1%=0,69; CV=5,62%. (B - Ápice): DMS a 5%=0,50; CV=9,44%

Figura 22 A-B. Relação K/Ca (A) e teores de Ca (B) na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
A) Nanica	8,78 a	11,33 b**	15,77 a	20,10 a	25,00 b**	26,99 b**	23,01±0,61 b**
Prata Anã	8,73 a	15,70 a**	16,39 a	21,41 a	27,95 a**	32,62 a**	26,30±0,46 a**
B) Nanica	2,03 a	1,90 a**	1,83 a*	1,73 a**	1,68 a**	1,75 a**	2,86±0,00 a
Prata Anã	2,02 a	1,59 b**	1,66 b*	1,21 b**	1,09 b**	1,49 b**	2,93±0,06 a

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,85 e 1%=1,16; CV=6,48%. (A - Ápice): DMS a 1%=2,04; CV=2,20%

(B - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,15 e 1%=0,21; CV=5,54%. (B - Ápice): DMS a 5%=0,13; CV=1,99%

Figura 23 A-B. Relação K/Mg (A) e (B) teores de Mg na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Nos ápices originais, a relação K/Ca foi de 50,24 para o cv. Nanica e 50,58 para o cv. Prata Anã, não havendo diferença estatística entre os cultivares ao nível de 5%. Para a relação K/Mg, foi de 23,01 para o cv. Nanica e 26,30 para o cv. Prata Anã, com diferença significativa a 1%.

Esses resultados mostram que à medida que a disponibilidade do K aumentou no meio de cultura, ocorreu redução nos teores de Ca e de Mg nas várias partes da plântula

que se revelam logicamente quando se analisa a plântula inteira. Dibb & Thompson (1985), baseados em vários autores, enfatizam que a adição de K à solução de cultivo de plantas determina um decréscimo, às vezes intenso, no nível de Mg nos tecidos, porém a adição de Mg diminui muito pouco o nível de K. Haveria portanto uma competição de “mão única” entre K e Mg. Por outro lado, Mengel & Kirby (1982) observaram que em plantas de arroz baixos níveis de K favoreceram a absorção de Ca e Mg resultando em produção mais baixa do que quando altos níveis de K foram utilizados. Esse antagonismo, principalmente entre K e Mg, estaria relacionado a um balanço iônico e não a um efeito de competição específico para transportadores

Na realidade, os autores tem preferido utilizar a relação K/Ca+Mg para visualizar os efeitos antagônicos desses três nutrientes, ou mais especificamente entre K-Ca e K-Mg, uma vez que aquela relação está diretamente ligada à produção final de uma cultura (Lahv et al, 1981).

Relação K/Ca+Mg - Na parte aérea das plântulas de bananeira estudadas no presente trabalho, foi encontrada no cv. Nanica uma relação K/Ca+Mg que, nas concentrações de K 5 a 30 mM, variou de 2,24 a 5,07, sendo que em K 20 mM foi de 3,71, enquanto que para o cv. Prata Anã variou de 2,12 a 6,11 sendo que em K 20 mM foi de 3,45 (Figura 24). Portanto, os cultivares não apresentaram relações K/Ca+Mg estatisticamente diferentes ao nível de 5% de K 5 a 20 mM, com exceção de K 15 mM que apresentou diferença a 5%; no entanto, de K 25 a 30 mM, houve diferença entre os cultivares ao nível de 5 e 1 %, respectivamente.

K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
Nanica	2,24 a	2,42 b*	2,82 a	3,71 a	4,63 a*	5,07 b**	15,76±0,14 b**
Prata Anã	2,12 a	3,19 *	3,03 a	3,45 a	3,88 b*	6,11 a**	17,27±0,34 a**

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey (K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,57 e 1%=0,78; CV=9,61%. (A - Ápice): DMS a 1%=0,97; CV=1,57%

Figura 24. Relação K/Ca+Mg na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM e nos ápices caulinares).

Nas raízes (Figura 25), a relação K/Ca+Mg nas concentrações de K 5 a 30 mM variou de 3,55 a 9,00 no cv. Nanica e de 3,49 a 11,51 no cv. Prata Anã, sendo que em K 20 mM, K/Ca+Mg foi de 6,50 no cv. Nanica e 5,84 no cv. Prata Anã. Os cultivares não apresentaram relações K/Ca+Mg estatisticamente diferentes ao nível de 5% de K 5 a 20 mM, com exceção de K 15 mM que apresentou diferença a 1%, no entanto, de K 25 a 30 mM, houve diferença entre os cultivares ao nível de 5 e 1 %, respectivamente.

K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
Nanica	3,55 a	3,52 b**	5,98 a	6,50 a	9,10 a*	9,00 b**	15,76±0,14 b**
Prata Anã	3,49 a	5,54 a**	6,05 a	5,84 a	8,23 b*	11,51 a**	17,27±0,34 a**

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,86 e 1%=1,16; CV=7,82%. (Ápice): DMS a 1%=0,97; CV=1,57%

Figura 25. Relação K/Ca+Mg na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Considerando-se os valores de K/Ca+Mg para plântulas inteiras (Figura 26), nas concentrações de K 5 a 30 mM os mesmos variaram de 2,57 a 6,10 para o cv. Nanica e de 2,57 a 7,61 para o cv. Prata Anã, sendo que em K 20 mM, o valor foi de 4,43 para o cv. Nanica e 4,06 para o cv. Prata Anã. Os cultivares não apresentaram relações K/Ca+Mg estatisticamente diferentes ao nível de 5% de K 5 a 20 mM, com exceção de K 15 mM que apresentou diferença a 1%, no entanto, de K 25 a 30 mM, houve diferença entre os cultivares ao nível de 5 e 1 %, respectivamente.

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey
(K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,50 e 1%=0,68; CV=6,92%. (Ápice): DMS a 1%=0,97; CV=1,57%

Figura 26. Relação K/Ca+Mg na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM e nos ápices caulinares).

Nos ápices das plantas doadores de explantes a relação K/Ca+ Mg foi de 15,76 para o cv. Nanica e 17,27 para o cv. Prata Anã, sendo os cultivares estatisticamente diferentes ao nível de 1% para esse parâmetro. Verifica-se uma vez mais que os valores de potássio nos explantes são substancialmente mais elevados do que aqueles de Ca e Mg e da soma dos mesmos.

Como se pode observar pelas Figuras 24 a 26 há uma relação direta entre os teores de potássio e a soma dos teores de cálcio e magnésio nas várias partes das plântulas de ambos os cultivares. Como é enfatizado pelo trabalho clássico de Lahv et al. (1981), os valores das relações K/Ca+Mg expressam melhor o estado nutricional da bananeira do que o valor isolado dos valores de Ca e Mg. A conclusão daqueles autores talvez esteja alicerçada no fato de que o íon cálcio é particularmente importante para a

manutenção da integridade de organelas celulares como mitocôndrias, aparelho de Golgi e outras, como também para a formação das membranas das células bem como das paredes celulares as quais são constituídas por polissacarídeos como lignina, celulose, hemicelulose e por pectina, estabelecendo as ligações entre esses componentes e mantendo assim funcional o metabolismo celular (Marinos, 1962).

Por sua vez, o íon magnésio é essencial para a ação de enzimas envolvidas nas reações de transferência de fósforo, como as quinases comprometidas no metabolismo de mono e dissacarídeos cujos desdobramentos levam à síntese de polissacarídeos.

A ação de cada um desses elementos deve ser visualizada (o que é válido também para todos os demais nutrientes) como uma interdependência bioquímico - fisiológica entre eles, levando ao desenvolvimento da planta como um todo, o que, de resto, está diretamente relacionado à produção final, como já foi mencionado mais acima. Esse inter-relacionamento pode ser observado quando se comparam esses valores com aqueles da massa de matéria seca da Figura 5; à medida que o K é oferecido ao meio de cultura em crescentes concentrações, e os níveis dos demais nutrientes são mantidos constantes (entre eles o Ca e o Mg), as células dos explantes dos dois cultivares de banana vão se diferenciando ensejando o aparecimento de novos tecidos, em um processo cuja intensidade depende da disponibilidade desses e de outros componentes químicos. Níveis mais baixos de potássio determinaram menor desenvolvimento (Figura 3) e número (Figura 5) de plântulas com conseqüente menores valores de massa de matéria seca (Figuras 6-8), em um processo revertido quando a disponibilidade de potássio aumentou.

Relação K/S - Na parte aérea do cv. Nanica (Figura 27 A), a relação K/S variou de 6,35 a 25,25 em K 5 a 30 mM e no cv. Prata Anã foi de 6,58 a 27,98; em K 20 mM foi de 16,28 para o cv. Nanica e de 14,82 para o cv. Prata Anã. Não houve diferença estatística entre os dois cultivares em todas as concentrações. Na Figura 27-B estão os teores de S na parte aérea e ápice de ambos os cultivares.

	K (mM)	5	10	15	20	25	30	Média K 5 a 30	Ápice
A) Nanica		6,41	10,19	14,61	16,28	21,00	25,69	15,70 a	32,29±0,30 a**
Prata Anã		6,61	11,58	14,21	14,78	18,38	28,07	15,61 a	35,05±0,61 b**
B) Nanica		2,70	2,30	2,10	2,27	2,07	2,10	2,25 a**	2,06±0,06 a
Prata Anã		2,57	2,10	2,00	1,90	1,67	1,90	2,02 b**	2,23±0,00 a

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - Média K 5 a 30 mM): DMS a 5%=1,08; CV=10,11%. (A - Ápice): DMS a 1%=1,79; CV=1,41%

(B - Média K 5 a 30 mM): DMS a 1%=0,16; CV=8,24%. (B - Ápice): DMS a 5%=0,13; CV=2,68%

Figura 27 A-B. Relação K/S (A) e teores de S (B) na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Na raiz (Figura 28 A), o cv. Nanica apresentou K/S variando de 5,05 a 18 em K 5 a 30 mM, sendo que em K 20 mM foi de 13,17. No cv. Prata Anã, K/S foi de 5,63 a 19,30 em K 5 a 30 mM, sendo que em K 20 mM foi de 10,24. Não houve diferença significativa entre os cultivares nas concentrações de K 5, 15 e 30 mM, mas ocorreu diferença estatística em K 15 e 25 mM ao nível de 1%, sendo que em K 10 mM ao nível de 5%. Na Figura 28-B estão os teores de S na raiz e ápice de ambos os cultivares.

	K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
A) Nanica		5,05 a	6,84 b*	9,95 a	13,17 a**	17,17 a**	18,00 a	32,29±0,30 a**
Prata Anã		5,63 a	8,89 a*	10,62 a	10,24 b**	13,57 b**	19,30 a	35,05±0,61 b**
B) Nanica		3,77 a**	2,83 a	2,70 a*	2,40 a	2,37 a	2,23 a	2,06±0,06 a
Prata Anã		3,27 b**	2,93 a	2,43 b*	2,23 a	2,23 a	2,27 a	2,23±0,00 a

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=1,59 e 1%=2,15; CV=8,17%. (A - Ápice): DMS a 1%=1,79; CV=1,41%

(B - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,21 e 1%=0,29; CV=4,81%. (B - Ápice): DMS a 5%=0,13; CV=2,68%

Figura 28 A-B. Relação K/S (A) e teores de S (B) na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Na plântula inteira (Figura 29-A), detectou-se uma variação na relação K/S de 5,9 a 21,82 em K 5 a 30 mM, sendo que em K 20 mM foi de 14,99, no cv. Nanica. Por sua vez, no cv. Prata Anã, K/S variou de 6,15 a 23,39 em K 5 a 30 mM; em K 20 mM o valor de K/S foi de 12,70. Houve diferença estatística entre os cultivares em K 5, 10, 15 e 25 mM ao nível de 1%; não foi detectada diferença significativa em K 20 e 30 mM. Na Figura 29-B estão os teores de S na plântula inteira e ápice de ambos os cultivares.

	K (mM)	5	10	15	20	25	30	Média K 5 a 30	Ápice
A) Nanica		5,90 a	8,37 b**	12,27 a	14,99 a**	19,32 a**	21,82 a**	13,78	32,29±0,30 a**
Prata Anã		6,15 a	10,19 a**	12,30 a	12,70 b**	15,88 b**	23,39 b**	13,43	35,05±0,61 b**
B) Nanica		3,03	2,56	2,35	2,31	2,19	2,17	2,43 a**	2,06±0,06 a
Prata Anã		2,86	2,46	2,21	2,05	1,92	2,08	2,26 b**	2,23±0,00 a

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=1,31 e 1%=1,77; CV=5,71%. (A - Ápice): DMS a 1%=1,79; CV=1,41%

(B - Média K 5 a 30 mM): DMS a 1%=0,11; CV=5,15%. (B - Ápice): DMS a 5%=0,13; CV=2,68%

Figura 29 A-B. Relação K/S (A) e teores de S (B) na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Nos ápices caulinares, a relação K/S foi de 32,29 para o cv. Nanica e de 35,06 para o cv. Prata Anã, havendo diferença significativa ao nível de 1% entre os cultivares.

Em geral, as quantidades dos macronutrientes totais absorvidos pelas plântulas inteiras do cv. Nanica, após 90 dias de cultivo em meio de enraizamento seguiram a ordem: N>K>Ca>P>S>Mg (K 5 a 20 mM) e K>N>Ca>P>S>Mg (K 25 a 30 mM). Para o cv. Prata Anã seguiram a ordem: N>K>Ca>P>S>Mg (K 5, 10, 20 e 25 mM) e

K>N>Ca>P>S>Mg (K 15 e 30 mM). Essas ordens podem ser melhor visualizadas nas Tabelas 2 e 3, nas quais são mostradas as proporções de absorção de macronutrientes calculadas tomando-se como base 100 o valor dos teores de K absorvido pelas plântulas em presença de cada um dos níveis de K (5 a 30 mM) nos meios de cultivo.

Tabela 2. Proporção de absorção de macronutrientes na plântula inteira do cv. Nanica, após 90 dias de cultivo em meio de enraizamento (K 5 a 30 mM) e no ápice caulinar.

K (mM)	K	N	Ca	P	S	Mg
5	100	337	28	21	17	11
10	100	209	27	13	12	9
15	100	150	22	9	8	6
20	100	120	18	9	7	5
25	100	97	14	7	5	4
30	100	68	13	6	5	4
Ápice	100	51	2	14	3	4

Tabela 3. Proporção de absorção de macronutrientes na plântula inteira do cv. Prata Anã, após 90 dias de cultivo em meio de enraizamento (K 5 a 30 mM) e no ápice caulinar.

K (mM)	K	N	Ca	P	S	Mg
5	100	262	28	25	16	12
10	100	154	19	11	10	6
15	100	94	19	8	8	6
20	100	114	20	10	8	5
25	100	122	16	9	6	4
30	100	57	10	5	4	3
Ápice	100	38	2	12	3	4

Com relação aos ápices caulinares (Tabelas 2 e 3) as quantidades de macronutrientes totais absorvidos seguiram a ordem K>N>P>Mg>S>Ca para ambos os cultivares, apresentando as proporções 100:51:14:4:3:2 no cv. Nanica e 100:38:12:4:3:2 no cv. Prata Anã.

Relação K/Cu - Na parte aérea (Figura 30-A) do cv. Nanica, a relação K/Cu variou de 8.566,67 a 53.033,33 em K 5 a 30 mM e no cv. Prata Anã foi de 11.483,33 a 53.166,67, em K 20 mM foi de 36.900,00 para o cv. Nanica e de 28.166,67 para o cv. Prata Anã. Não houve diferença estatística entre os dois cultivares, com exceção de K 20 e 25 mM, onde ocorreu diferença ao nível de 1%. Na Figura 30-B estão os teores de Cu na parte aérea e ápice de ambos os cultivares.

	K (mM)	5	10	15	20	25	30	Média K 5 a 30	Ápice
A) Nanica		8566,67 a	23400,00 a	30700,00 a	36900,00 a**	43166,67 a**	53033,33 a	32627,77	2947,41±608,18 b**
Prata Anã		11483,33 a	24266,67 a	28433,33 a	28166,67 b**	30633,33 b**	53166,67 a	29358,33	4725,24±137,13 a**
B) Nanica		2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,16 a	23,33±5,03 a
Prata Anã		1,67	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,11 a	16,33±0,58 a

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=4.454,13 e 1%=6.040,53; CV=8,52%. (A - Ápice): DMS a 1%=1656,94; CV=11,49%

(B - Média K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,11; CV=14,63%. (B - Ápice): DMS a 5%=8,12; CV=18,06%

Figura 30 A-B. Relação K/Cu (A) e teores de Cu (B) na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Na raiz (Figura 31-A), o cv. Nanica apresentou K/Cu variando de 3.596,67 a 40.200,00 em K 5 a 30 mM, sendo que em K 20 mM foi de 15.716,67. No cv. Prata Anã, K/Cu foi de 3.264,33 a 43.666,67 em K 5 mM a K 30 mM, sendo que em K 20 mM foi

de 22.866,67. Não houve diferença significativa entre os cultivares nas concentrações de K 5, 15 mM, mas ocorreu diferença estatística em K 10 e de K20 a K 30 mM ao nível de 1%. Na Figura 31-B estão os teores de Cu na raiz e ápice de ambos os cultivares.

	K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
A) Nanica		3596,67 a	19366,67 a**	26833,33 a	15716,67 b**	20316,67 b**	40200,00 b**	2947,41±608,18 b**
Prata Anã		3264,33 a	2331,67 b**	25833,33 a	22866,67 a**	30166,67 a**	43666,67 a**	4725,24±137,13 a**
B) Nanica		5,33 a	1,00 b**	1,00 a	2,00 a*	2,00 a*	1,00 a	23,33±5,03 a
Prata Anã		5,67 a	11,33 a**	1,00 a	1,00 b*	1,00 b*	1,00 a	16,33±0,58 a

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=2280,33 e 1%=3092,50; CV=6,38%. (A - Ápice): DMS a 1%=1656,94; CV=11,49%

(B - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,84 e 1%=1,14; CV=18,0%. (B - Ápice): DMS a 5%=8,12; CV=18,06%

Figura 31 A-B. Relação K/Cu (A) e teores de Cu (B) na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Na plântula inteira (Figura 32-A), detectou-se uma variação na relação K/Cu de 5.848,72 a 47.257,91 em K 5 a 30 mM, sendo que em K 20 mM foi de 24.582,91, no cv. Nanica. Por sua vez, no cv. Prata Anã, K/Cu variou de 5.306,57 a 48.678,84 em K 5 a 30 mM; em K 20 mM o valor de K/Cu foi de 26.026,41. Não houve diferença estatística à

5% entre os cultivares, com exceção de K 10 mM onde ocorreu diferença à 1%. Na Figura 32-B estão os teores de Cu na plântula inteira e no ápice de ambos os cultivares.

Figura 32 A-B. Relação K/Cu (A) e teores de Cu (B) na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

No ápices caulinares a relação K/Cu foi 2947,41 no cv. Nanica e 4725, 24 no cv. Prata Anã, com diferença significativa ao nível de 1%. Observe-se que estão sendo relacionados valores obtidos para macro e micronutrientes, estes últimos expressos em unidades de 10⁻³.

Relação K/Fe - Na parte aérea (Figura 33-A) do cv. Nanica, a relação K/Fe variou de 180,31 a 655,85 em K 5 a 30 mM e no cv. Prata Anã foi de 96,81 a 361,72; em K 20 mM foi de 303,41 para o cv. Nanica e de 186,85 para o cv. Prata Anã. Não houve diferença estatística à 5% entre os dois cultivares de K5 a K 15 mM, mas ocorreu diferença à 5% em K20 e K25 mM e à 1% em K 30 mM. Na Figura 33-B estão os teores de Fe na parte aérea e no ápice de ambos os cultivares.

	K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
A) Nanica		180,31 a	169,59 a	228,97 a	303,41 a*	315,48 a*	655,85 a**	780,04±26,66 b**
Prata Anã		96,81 a	156,15 a	276,73 a	186,85 b*	217,92 b*	361,72 b**	1456,06±39,03 a**
B) Nanica		100,67 b**	140,00 a	140,33 a	122,33 a	137,67 a	83,00 b**	85,66±5,13 a**
Prata Anã		174,33 a**	155,67 a	104,00 a	155,33 a	141,33 a	148,67 a**	53,00±1,73 b**

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=95,47 e 1%=129,48; CV=21,57%. (A - Ápice): DMS a 1%=125,62; CV=2,99%

(B - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=37,25 e 1%=50,51; CV=16,53%. (B - Ápice): DMS a 1%=14,39; CV=5,52%

Figura 33 A-B. Relação K/Fe (A) e teores de Fe (B) na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Na raiz (Figura 34-A), o cv. Nanica apresentou K/Fe variando de 25,94 a 110,03 em K 5 mM a K 30 mM, sendo que em K 20 mM foi de 86,30. No cv. Prata Anã, K/Fe foi de 29,42 a 99,89 em K 5 a 30 mM, sendo que em K 20 mM foi de 51,54. Não houve diferença significativa à 5% entre os cultivares nas concentrações de K 5, 10 e 30 mM, mas ocorreu diferença estatística de K 15 a K25 mM ao nível de 1%. Na Figura 34-B estão os teores de Fe na raiz e no ápice de ambos os cultivares.

K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
A) Nanica	25,94 a	46,77 a	56,69 b**	86,30 a**	115,17 a**	110,03 a	780,04±26,66 b**
Prata Anã	29,42 a	52,01 a	77,85 a**	51,54 b**	60,27 b**	99,89 a	1456,06±39,03 a**
B) Nanica	735,00 a**	414,67 b*	473,33 a**	379,33 a	353,33 b**	365,67 a	85,66±5,13 a**
Prata Anã	628,33 b**	501,67 a*	335,00 b**	443,67 a	503,00 a**	437,67 a	53,00±1,73 b**

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=15,22 e 1%=20,65; CV=13,35%. (A - Ápice): DMS a 1%=125,62; CV=2,99%

(B - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=0,34 e 1%=0,47; CV=11,48%. (B - Ápice): DMS a 1%=14,39; CV=5,52%

Figura 34 A-B. Relação K/Fe (A) e teores de Fe (B) na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Na plântula inteira (Figura 35-A), detectou-se uma variação na relação K/Fe de 59,16 a 226,12 em K 5 a 30 mM, sendo que em K 20 mM foi de 155,28 no cv. Nanica.

Por sua vez, no cv. Prata Anã, K/Fe variou de 48,38 a 170,09 em K 5 a 30 mM; em K 20 mM o valor de K/Fe foi de 93,25. Não houve diferença estatística à 5% entre os cultivares em K 5 e K 10 mM, mas ocorreu diferença à 5% em K 15 mM e à 1% de K 20 a K30 mM. Na Figura 35-B estão os teores de Fe na plântula inteira e no ápice de ambos os cultivares.

K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
A) Nanica	59,16 a	78,60 a	103,31 b*	155,28 a**	189,76 a**	226,12 a**	780,04±26,66 b**
Prata Anã	48,38 a	82,26 a	126,19 a*	93,25 b**	100,72 b**	170,09 b**	1456,06±39,03 a**
B) Nanica	302,15 b**	273,18 a	279,97 a**	226,58 b**	222,78 b**	210,24 b**	85,66±5,13 a**
Prata Anã	364,04 a**	304,56 a	215,67 b**	278,97 a**	303,07 a**	286,13 a**	53,00±1,73 b**

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=20,59 e 1%=27,92; CV=10,22%. (A - Ápice): DMS a 1%=125,62; CV=2,99%

(B - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=32,28 e 1%=43,77; CV=7,03%. (B - Ápice): DMS a 1%=14,39; CV=5,52%

Figura 35 A-B. Relação K/Fe (A) e teores de Fe (B) na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Nos ápices caulinares, a relação K/Fe foi de 780, 05 para o cv. Nanica e 1456,06 para o cv. Prata Anã. Ocorreu diferença estatística ao nível de 1% entre os cultivares.

Relação K/Mn - Na parte aérea (Figura 36-A) do cv. Nanica, a relação K/Mn variou de 43,79 a 126,06 em K 5 a 30 mM e no cv. Prata Anã foi de 28,96 a 124,72; em K 20 mM foi de 86,22 para o cv. Nanica e de 75,11 para o cv. Prata Anã. Não houve diferença estatística à 5% entre os dois cultivares, com exceção de K 5 mM ao nível de 5% e K 25 mM à 1%. Na Figura 36-B estão os teores de Mn na parte aérea e no ápice de ambos os cultivares.

	K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
A) Nanica		43,79 a*	51,03 a	63,57 a	86,22 a	100,88 a**	126,06 a	1733,36±151,77 a
Prata Anã		28,96 b*	52,69 a	72,66 a	75,11 a	72,59 b**	124,72 a	1665,65±60,42 a
B) Nanica		392,00 b**	459,00 a	483,67 a**	428,00 a*	428,00 a	422,67 a	38,67±3,06 b*
Prata Anã		582,67 a**	461,33 a	393,33 b**	375,00 b*	427,00 a	428,00 a	46,33±1,15 a*

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=13,08 e 1%=17,74; CV=10,36%. (A - Ápice): DMS a 5%=262,08; CV=6,79%

(B - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=45,88 e 1%=62,22; CV=6,18%. (B - Ápice): DMS a 5%=5,24; CV=5,43%

Figura 36 A-B. Relação K/Mn (A) e teores de Mn (B) na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Na raiz (Figura 37-A), o cv. Nanica apresentou K/Mn variando de 172,37 a 1.075,40 em K 5 a 30 mM, sendo que em K 20 mM foi de 942,13. No cv. Prata Anã, K/Mn foi de 234,85 a 1.198,78 em K 5 mM a K 30 mM, sendo que em K 20 mM foi de

807,79. Não houve diferença estatística ao nível de 5% na relação K/Mn da raiz entre os cultivares. Na Figura 37-B estão os teores de Mn na raiz e no ápice de ambos os cultivares.

K (mM)	5	10	15	20	25	30	Média K 5 a 30	Ápice
A) Nanica	172,37	244,25	590,13	942,13	1173,49	1075,40	699,63 a	1733,36±151,77 a
Prata Anã	234,85	557,35	578,52	807,79	806,41	1198,78	698,95 a	1665,65±60,42 a
B) Nanica	111,00 a**	79,66 a**	45,67 a	33,33 a	39,00 a	38,33 a	57,83	38,67±3,06 b*
Prata Anã	78,33 b**	47,00 b**	45,33 a	29,33 a	37,66 a	38,33 a	46,00	46,33±1,15 a*

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - Média K 5 a 30 mM): DMS a 5%=142,29; CV=29,56%. (A - Ápice): DMS a 5%=262,08; CV=6,79%

(B - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=13,11 e 1%=17,78; CV=14,98%. (B - Ápice): DMS a 5%=5,24; CV=5,43%

Figura 37 A-B. Relação K/Mn (A) e teores de Mn (B) na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Na plântula inteira (Figura 38-A), detectou-se uma variação na relação K/Mn de 58,88 a 190,85 em K 5 a 30 mM, sendo que em K 20 mM foi de 131,35 no cv. Nanica. Por sua vez, no cv. Prata Anã, K/Mn variou de 47,09 a 201,21 em K 5 a 30 mM; em K 20 mM o valor de K/Mn foi de 113,72. Não houve diferença estatística à 5% entre os cultivares em K 5, 10 e 30 mM, mas ocorreu diferença à 1% em K 15 e 25 mM e à 5%

em K 20 mM. Na Figura 38-B estão os teores de Mn na plântula inteira e no ápice de ambos os cultivares.

	K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
A) Nanica		58,88 a	78,12 a	97,23 b**	131,35 a*	153,54 a**	190,85 a	1733,36±151,77 a
Prata Anã		47,09 a	88,60 a	120,76 a**	113,72 b*	122,49 b**	201,21 a	1665,65±60,42 a
B) Nanica		302,49 b**	276,02 a	300,73 a**	265,67 a	274,69 a	247,54 a	38,67±3,06 b*
Prata Anã		372,20 a**	282,87 a	225,51 b**	228,73 a	253,17 a	242,20 a	46,33±1,15 a*

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=16,32 e 1%=22,13; CV=8,27%. (A - Ápice): DMS a 5%=262,08; CV=6,79%

(B - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=37,76 e 1%=51,22; CV=8,21%. (B - Ápice): DMS a 5%=5,24; CV=5,43%

Figura 38 A-B. Relação K/Mn (A) e teores de Mn (B) na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

A relação K/Mn nos ápices caulinares foi de 1733,36 para o cv. Nanica e de 1665,65 para o cv. Prata Anã, não havendo diferença estatística entre ele ao nível de 5%.

Relação K/Zn - Na parte aérea (Figura 39-A) do cv. Nanica, a relação K/Zn variou de 195,70 a 770,20 em K 5 a 30 mM e no cv. Prata Anã foi de 308,70 a 670,93; em K 20 mM foi de 745,47 para o cv. Nanica e de 390,72 para o cv. Prata Anã. Não houve diferença estatística à 5% entre os dois cultivares em K 10, 25 e 30 mM, mas ocorreu diferença à 5% em K 5 mM e à 1% em K 15 e 20 mM. Na Figura 39-B estão os teores de Zn na parte aérea e no ápice de ambos os cultivares.

	K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
A) Nanica		195,70 b*	442,63 a	644,33 a**	745,47 a**	551,72 a	770,20 a	797,58±13,44 b**
Prata Anã		308,70 a*	340,73 a	454,82 b**	390,72 b**	542,82 a	670,93 a	1118,03±9,06 a**
B) Nanica		88,67 a**	53,67 b*	47,67 a	49,67 b**	78,33 a**	70,00 a	83,67±1,53 a**
Prata Anã		56,33 b**	71,33 a*	62,67 a	73,67 a**	56,67 b**	80,00 a	69,00±1,73 b**

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=109,81 e 1%=148,93; CV=12,90%. (A - Ápice): DMS a 1%=43,08; CV=1,97%

(B - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=15,09 e 1%=20,47; CV=13,62%. (B - Ápice): DMS a 1%=6,13; CV=2,13%

Figura 39 A-B. Relação K/Zn (A) e teores de Zn (B) na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Na raiz (Figura 40-A), o cv. Nanica apresentou K/Zn variando de 82,15 a 262,90 em K 5 a 30 mM, sendo que em K 20 mM foi de 241,05. No cv. Prata Anã, K/Zn foi de

75,41 a 291,12 em K 5 mM a K 30 mM, sendo que em K 20 mM foi de 181,90. Não houve diferença estatística ao nível de 5% na relação K/Zn da raiz entre os cultivares. Na Figura 40-B estão os teores de Zn na raiz e no ápice de ambos os cultivares.

	K (mM)	5	10	15	20	25	30	Média K 5 a 30	Ápice
A) Nanica		82,15	134,80	190,13	241,05	189,99	262,90	183,51 a	797,58±13,44 b**
Prata Anã		75,41	147,25	207,22	181,90	190,02	291,12	182,15 a	1118,03±9,06 a**
B) Nanica		232,67 a	143,67 b*	142,67 a	134,00 a	215,00 a**	153,33 a	170,22	83,67±1,53 a**
Prata Anã		244,00 a	177,33 a*	124,67 a	127,00 a	161,67 b**	150,67 a	164,22	69,00±1,73 b**

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - Média K 5 a 30 mM): DMS a 5%=17,11; CV=13,60%. (A - Ápice): DMS a 1%=43,08; CV=1,19%

(B - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=27,02 e 1%=36,65; CV=9,58%. (B - Ápice): DMS a 1%=6,13; CV=2,13%

Figura 40 A-B. Relação K/Zn (A) e teores de Zn (B) na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

Na plântula inteira (Figura 41-A), detectou-se uma variação na relação K/Zn de 134,08 a 443,52 em K 5 a 30 mM, sendo que em K 20 mM foi de 414,04 no cv. Nanica. Por sua vez, no cv. Prata Anã, K/Zn variou de 130,62 a 428,89 em K 5 a 30 mM; em K 20 mM o valor de K/Zn foi de 268,21. Não houve diferença estatística à 5% entre os

cultivares, com exceção de K 20 mM onde ocorreu diferença ao nível de 1%. Na Figura 41-B estão os teores de Zn na plântula inteira e no ápice de ambos os cultivares.

	K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
A) Nanica		134,08 a	221,38 a	331,24 a	414,04 a**	319,54 a	443,52 a	797,58±13,44 b**
Prata Anã		130,62 a	214,05 a	293,63 a	268,21 b**	296,24 a	428,89 a	1118,03±9,06 a**
B) Nanica		133,92 a	97,11 b**	88,06 a	84,25 a	132,11 a**	107,73 a	83,67±1,53 a**
Prata Anã		134,55 a	116,94 a**	92,56 a	97,02 a	103,42 b**	113,61 a	69,00±1,73 b**

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

(A - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=49,11 e 1%=66,60; CV=10,0%. (A - Ápice): DMS a 1%=43,08; CV=1,19%

(B - K 5 a 30 mM): DMS a 5%=14,58 e 1%=19,77; CV=7,97%. (B - Ápice): DMS a 1%=6,13; CV=2,13%

Figura 41 A-B. Relação K/Zn (A) e teores de Zn (B) na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã em diferentes doses de K (5 a 30 mM) e nos ápices caulinares.

A relação K/Zn nos ápices foi de 797,58 para o cv. Nanica e de 1118,03 para o cv. Prata Anã, havendo diferença significativa ao nível de 1%.

Em geral, as quantidades dos micronutrientes totais absorvidos pelas plântulas inteiras do cv. Nanica, após 90 dias de cultivo em meio de enraizamento seguiram a ordem: Mn>Fe>Zn>Cu (K 5 a 30 mM). Para o cv. Prata Anã seguiram a ordem: Fe>Mn>Zn>Cu (K 10, 20, 25 e 30 mM) e Mn>Fe>Zn>Cu (K 5 e 15 mM). Essas ordens

podem ser melhor visualizadas nas Tabelas 4 e 5, nas quais são mostradas as proporções de absorção de micronutrientes calculadas tomando-se como base 100 o valor dos teores de Mn absorvido pelas plântulas em presença de cada um dos níveis de K (5 a 30 mM) nos meios de cultivo.

Tabela 4. Proporção de absorção de micronutrientes na plântula inteira do cv. Nanica, após 90 dias de cultivo em meio de enraizamento (K 5 a 30 mM) e no ápice caulinar.

K (mM)	Mn	Fe	Zn	Cu
5	100	99	44	1,0
10	100	99	35	0,4
15	100	93	29	0,3
20	100	85	32	0,5
25	100	81	48	0,5
30	100	85	44	0,4
Ápice	100	222	216	60,0

Tabela 5. Proporção de absorção de micronutrientes na plântula inteira do cv. Prata Anã, após 90 dias de cultivo em meio de enraizamento (K 5 a 30 mM) e no ápice caulinar.

K (mM)	Mn	Fe	Zn	Cu
5	100	98	36	0,9
10	100	108	41	1,9
15	100	96	41	0,4
20	100	122	42	0,4
25	100	120	41	0,4
30	100	118	47	0,4
Ápice	100	114	149	35,0

Com relação aos ápices caulinares (Tabelas 4 e 5) as quantidades de micronutrientes totais absorvidos seguiram a ordem Fe>Zn>Mn>Cu apresentando as proporções 222:216:100:60 no cv. Nanica e Zn>Fe>Mn>Cu apresentando as proporções 149:114:100:35 no cv. Prata Anã.

4.4 Inter-relação potássio e di - e poliaminas

Um dos sintomas de deficiência de potássio é o aparecimento de manchas necróticas no limbo foliar, as quais na realidade são resultado do acúmulo tóxico de poliaminas e principalmente da diamina putrescina.

No presente trabalho observou-se que, com o aumento das concentrações de K, em ambos os cultivares, na parte aérea, raiz e plântula inteira, ocorreu uma diminuição proporcional na concentração de putrescina (PUT), espermidina (ESPD), composto não identificado (CNI) e das poliaminas totais (POT). O acúmulo da diamina putrescina foi acentuado nas plântulas submetidas às concentrações mais baixas de K, como há muito havia sido observado pelos trabalhos pioneiros de Richards & Coleman (1952), Coleman & Richards (1956) e posteriormente, por Crocomo et al. (1970) e Crocomo & Basso (1974) o que foi corroborado por vários outros autores (Smith, 1991). Nos resultados aqui apresentados constatou-se uma alta correlação negativa entre as concentrações de potássio e de putrescina, como se discutirá mais adiante.

Nas Figura 42 (A-D), foi possível visualizar o comportamento *in vitro* e *ex vitro* das di- e poliaminas na parte aérea, raiz e ápices caulinares dos cultivares Nanica e Prata Anã, nas diferentes concentrações de K, sendo esta parte visual corroborada pelos dados quantitativos obtidos por densitometria.

Os valores do composto não identificado (CNI) foram calculados relativamente com base no padrão de espermina (ESPM) por apresentarem R_{fs} muito próximos.

Figura 42 A-D. Cromatografia de camada delgada de poliaminas dansiladas na parte aérea (A, B) e raiz (C, D) dos cvs. Nanica (A, C) e Prata Anã (B, D); fase móvel: clorofórmio:triethylamina (25:2, v/v); bandas 1 e 7 (A-D), padrões de putrescina, espermidina e espermina (0,5 nmol cada); banda 2 (A-D), extrato dansilado dos ápices caulinares do campo; bandas 3-6 e 8-9, extrato dansilado da parte aérea (A, B) e raiz (C, D) das plântulas *in vitro* de K 5 a 30 mM respectivamente; banda 10 extrato dansilado da parte aérea (A, B) e raiz (C, D) das plantas de telado; banda 11 (A-D) cocromatografia; banda 12 (A-D), branco onde foi usado água no lugar de extrato. Amônia (NH₃); Putrescina (Put); Espermidina (Espd); Espermina (Espm); Composto Não Identificado (Cni); Resíduo de Dansil (Res).

Putrescina - Com relação ao teores de putrescina na parte aérea das plântulas de ambos os cultivares *in vitro* (bandas 3 a 6 e 8 a 9 - Figura 42 A-B), pode-se observar que as manchas correspondentes a esta diamina, foram gradativamente diminuindo as suas intensidades, até praticamente desaparecerem nas concentrações mais altas de K. As Figuras 43 (A-B) ilustram a quantificação das aminas na parte aérea de ambos os cultivares nas doses K 5, 20 e 30 mM.

No cv. Nanica, os teores de putrescina na parte aérea variaram de 11,67 a 0,83 $\mu\text{moles/g MMS}$, em K 5 a 30 mM, sendo que em K 20 mM foi 2,67 $\mu\text{moles/g MMS}$. No cv. Prata Anã de 15,83 a 0,67 $\mu\text{moles/g MMS}$, em K 5 a 30 mM sendo que em K 20 mM foi 2,33 $\mu\text{moles/g MMS}$. Não houve diferença estatística entre os cultivares com exceção de K 5 que foi ao nível de 1%, e de K 10 mM que foi ao nível de 5%.

Com relação ao teores de putrescina na raiz das plântulas de ambos os cultivares cultivados *in vitro* (bandas 3 a 6 e 8 a 9 - Figura 42 C-D), pode-se observar que a coloração das manchas correspondentes a esta diamina foi gradativamente diminuindo de intensidade a partir das concentrações mais baixas até as mais altas de K. Estas observações visuais foram confirmadas pelas análises densitométricas (Figura 44 A-B).

No cv. Nanica, os teores de putrescina na raiz variaram de 10,33 a 5,67 $\mu\text{moles/g MMS}$, em K 5 a 30 mM; em K 20 mM foi 4,17 $\mu\text{moles/g MMS}$. No cv. Prata Anã esse teor variou de 9,17 a 0,83 $\mu\text{moles/g MMS}$, em K 5 a 30 mM, sendo que em K 20 mM foi 6,17 $\mu\text{moles/g MMS}$. Não houve diferença significativa em K 5, 10 e 25 mM ao nível de 5%, mas ocorreu diferença ao nível de 1% em K 15, 20 e 30 mM.

K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
Nanica	11,67 b**	7,33 b*	5,00 a	2,67 a	1,67 a	0,83 a	3,17±0,58 a*
Prata Anã	15,83 a**	9,83 a*	6,33 a	2,33 a	0,67 a	0,67 a	2,00±0,00 b*

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% (*) e 1% (**).
DMS a 5%=2,088 e 1%=2,832; CV=22,93% (K 5 a 30 mM). DMS a 5%=1,542; CV=15,78% (Ápice)

Figura 43 A-B. Curvas (A) e densitometria (B) da parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã, mostrando teores de putrescina em K 5 e 30 mM e nos ápices caulinares. Picos escuros são padrões de poliaminas e os claros amostras.

K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
Nanica	10,33 a	7,33 a	6,00 b**	4,17 b**	1,67 a	5,67 a**	3,17±0,58 a*
Prata Anã	9,17 a	8,33 a	7,83 a**	6,17 a**	2,83 a	0,83 b**	2,00±0,00 b*

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% (*) e 1% (**).

DMS a 5%=1,302 e 1%=1,766; CV=13,185% (K 5 a 30 mM). DMS a 5%=1,542; CV=15,78% (Ápice)

Figura 44 A-B. Curvas (A) e densitometria (B) da raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã, mostrando teores de putrescina em K 5 e 30 mM e nos ápices caulinares. Picos escuros são padrões de poliaminas e os claros amostras.

Nas plântulas inteiras (Figura 45) os teores de putrescina (µmoles/g MMS) variaram de 11,17 a 3,05 no cv. Nanica e de 13,07 a 0,76 no cv. Prata Ana , em K 5 a 30 mM, sendo que em K 20 mM os valores foram de 3,30 e 3,96, respectivamente. Houve diferença estatística entre os cultivares ao nível de 1% em K 5, 10 e 30 mM, à 5% em K 15 mM. Não ocorreu diferença em K 20 e 25 mM.

Figura 45. Teor de putrescina na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã, de K 5 a 30 mM e nos ápices caulinares.

Quanto ao acúmulo de putrescina (nmoles/parte aérea) (Figura 46), no cv. Nanica variou de 950 a 119,28 em K 5 a 30 mM, sendo que em K 20 mM foi de 395,14. No cv. Prata Anã variou de 1301,97 a 65,94, sendo que em K 20 mM foi de 260,47. Não houve diferença significativa ao nível de 5% entre os cultivares.

Figura 46. Acúmulo de putrescina na parte aérea dos cvs. Nanica e Prata Anã, de K 5 a 30 mM e nos ápices caulinares.

Na raiz (Figura 47), o acúmulo de putrescina mostrou uma tendência a decrescer a medida que a concentração de potássio aumentava no meio de cultura, sendo que no cv. Nanica variou de 394,85 nmoles/raiz em K 5 mM a 141,27 nmoles/raiz em K 25 mM. No cv. Prata Anã , variou de 525,83 a 76,67 nmoles/raiz em K 5 a 30 mM. Não houve diferença estatística entre os cultivares ao nível de 5%, com exceção de K 15 e K 30 mM onde ocorreu diferença ao nível de 1%.

Figura 47. Acúmulo de putrescina na raiz dos cvs. Nanica e Prata Anã, de K 5 a 30 mM e nos ápices caulinares.

Na plântula inteira (Figura 48), o acúmulo de putrescina (nmoles/plântula), no cv. Nanica variou de 1.344,85 a 724,57 em K 5 a 30 mM, sendo que em K 20 mM foi de 823,89. No cv. Prata Anã variou de 1.827,81 a 142,61 em K5 a 30 mM, sendo que em K 20 mM foi de 762,38. Houve diferença significativa ao nível de 5% em K 5 mM e ao nível de 1% em K 15 e 30 mM; nas demais concentrações de K não houve diferença significativa entre os cultivares.

Figura 48. Acúmulo de putrescina na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã, de K5 a 30 mM e nos ápices caulinares.

Quanto aos ápices caulinares doadores dos explantes, observa-se que já existia um teor endógeno de putrescina mesmo antes de serem inoculados in vitro: 3,17 μmoles/g MMS no cv. Nanica e de 2,00 μmoles/g MMS no cv. Prata Anã. A mancha correspondente ao ápice do cv. Nanica apresenta uma coloração ligeiramente mais intensa do que o cv. Prata Anã, indicando que originalmente, os explantes do cv. Nanica apresentavam um maior teor de putrescina (Figura 42 A-D). Estes dados foram corroborados pelas análises quantitativas que estão graficamente representadas nas Figuras 43 e 44 (A-B). Houve diferença significativa entre cultivares ao nível de 5%.

O valor de putrescina acumulada nos ápices do cv. Nanica foi de 338,33 nmoles/ápice e 159,33 nmoles/ápice no cv. Prata Anã. Houve diferença significativa ao nível de 5%.

Tomando por base os resultados dos teores de putrescina e de seu acúmulo nos ápices caulinares e nas plântulas regeneradas *in vitro*, pode-se inferir que essa diamina estaria se formando ao longo do ciclo biológico da bananeira mesmo em níveis adequados de K. Desse modo, testes do teor de putrescina em tecidos vegetais, inclusive da bananeira, poderiam ser utilizados para indicar o nível de potássio dos mesmos.

Todos os dados referentes aos teores e acúmulo de espermidina, composto não identificado e poliaminas totais, em ambos os cultivares, na parte aérea, raiz, plântula inteira e ápices caulinares, encontram-se nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6. Teores ($\mu\text{mol/g}$ MMS) de espermidina, composto não identificado e poliaminas totais na parte aérea, raiz e plântula inteira, nos cvs. Nanica e Prata Anã de K 5 a 30 mM e nos ápices caulinares.

		K (mM)						
Parte	Cultivar	5	10	15	20	25	30	Ápice
Espermidina								
Parte aérea	Nanica	0,50±0,0 b**	0,50±0,0 b*	0,50±0,0 a	0,50±0,0 a	0,00±0,0 b**	0,00±0,0 b*	1,46±0,0 a**
	Prata Anã	3,33±0,3 a**	1,00±0,5 a*	0,66±0,3 a	0,83 ±0,3 a	0,66±0,3 a**	0,50 ±0,0 a*	1,03±0,0 b**
Raiz	Nanica	0,50±0,0 b**	0,00±0,0 b**	0,00±0,0 b**	0,50±0,0 b**	0,00±0,0 b**	0,00±0,0 b**	
	Prata Anã	0,83±0,3 a**	0,50±0,0 a**	0,50±0,0 a**	0,83±0,3 a**	1,16±0,3 a**	0,50±0,0 a**	
Plântula Int.	Nanica	0,50±0,0 b**	0,25±0,03 b*	0,29±0,03 b*	0,50±0,0 b**	0,00±0,0 b**	0,00±0,0 b**	
	Prata Anã	2,29±0,2 a**	0,78±0,3 a*	0,58±0,2 a*	0,82±0,2 a**	0,89±0,3 a**	0,50±0,0 a**	
Composto Não Identificado								
Parte aérea	Nanica	5,00±0,5 b**	4,33±0,3 b**	5,00±0,9 b**	4,33±2,2 a	1,50±0,5 b**	1,33±0,6 b**	14,83±3,6 a*
	Prata Anã	20,66±2,3 a**	13,33±2,0 a**	8,66±1,3 a**	6,00±1,0 a	6,66±1,3 a**	7,66±1,1 a**	8,50±0,8 b*
Raiz	Nanica	9,00±2,2 b**	10,50±0,5 b**	13,16±4,0 b**	11,33±3,5 b*	1,50±0,0 b**	7,50±1,8 b**	
	Prata Anã	27,00±1,8 a**	19,16±1,4 a**	19,66±6,0 a**	16,00±0,8 a*	18,33±2,0 a**	16,66±2,7 a**	
Plântula Int.	Nanica	6,29±1,2 b**	7,29±0,2 b**	8,44±2,4 b**	7,21±2,8 b*	1,49±0,3 b**	4,09±0,8 b**	
	Prata Anã	23,32±1,6 a**	15,82±0,9 a**	14,00±3,5 a**	10,28±0,2 a*	11,88±0,7 a**	12,00±2,1 a**	
Poliaminas Totais								
Parte aérea	Nanica	17,16±2,5 b**	12,16±1,0 b**	10,50±1,7 b**	7,50±1,80 a	3,16±1,04 b**	2,16±1,15 b**	19,50±3,9 a*
	Prata Anã	39,83±5,1 a**	24,16±2,8 a**	15,66±0,3 a**	9,16±1,0 a	8,00±0,87 a**	8,83±1,0 a**	11,50±0,9 b*
Raiz	Nanica	19,83±2,0 b**	17,83±1,2 b**	19,16±4,0 b**	16,00±4,0 b*	3,16±0,3 b**	13,16±2,7 a	
	Prata Anã	37,00±1,8 a**	28,00±1,3 a**	28,00±7,2 a**	23,00±1,0 a*	22,33±1,6 a**	18,00±3,0 a	
Plântula Int.	Nanica	17,96±2,4 b**	14,93±0,9 b**	14,09±2,7 b**	11,01±2,7 b*	3,14±0,5 b**	7,15±1,4 b**	
	Prata Anã	38,69±3,3 a**	25,79±1,4 a**	21,65±3,5 a**	15,06±0,6 a*	14,41±0,4 a**	13,26±2,0 a**	

Médias entre os cultivares seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

Tabela 7. Acúmulo (nmol/plântula) de espermidina, composto não identificado e poliaminas totais na parte aérea, raiz e plântula inteira, nos cvs. Nanica e Prata Anã de K 5 a 30 mM e nos ápices caulinares (nmol/ápice).

		K (mM)						
Parte	Cultivar	5	10	15	20	25	30	Ápice
Espermidina								
Parte aérea	Nanica	18,0±5,9 b**	26,2±2,2 b**	27,7±2,4 b**	31,4±9,6 b**	0,0±0,0 b**	0,0±0,0 b**	159,0±12,8 a**
	Prata Anã	301,9±28,0 a**	108,3±49,7 a**	99,9±35,16 a**	113,0±41,2 a**	60,5±16,9 a**	68,0±11,1 a**	79,6±7,7 b**
Raiz	Nanica	8,5±3,5 b**	0,0±0,0 b**	0,0±0,0 b**	23,5±11,5 b**	0,0±0,0 b**	0,0±0,0 b**	
	Prata Anã	54,3±19,9 a**	41,6±0,29 a**	71,6±6,2 a**	82,1±28,7 a**	87,1±4,9 a**	61,6±6,5 a**	
Plântula Int.	Nanica	26,5±9,2 b**	26,2±2,2 b**	27,7±2,4 b**	54,9±21,0 b**	0,0±0,0 b**	0,0±0,0 b**	
	Prata Anã	356,2±8,1 a**	150,0±49,4 a**	171,5±28,9 a**	195,2±47,1 a**	147,6±20,2 a**	129,7±13,8 a**	
Composto Não Identificado								
Parte aérea	Nanica	409,55±32,4 b**	382,89±71,2 b**	454,55±28,3 b*	631,60±81,0 a	206,11±94,5 b**	185,55±75,4 b**	1590,50±215,21 a†
	Prata Anã	1686,33±212,3 a**	1276,37±207,6 a**	883,22±65,6 a*	674,91±76,9 a	726,76±55,1 a**	744,73±43,6 a**	681,50±130,29 b*
Raiz	Nanica	346,97±110,1 b**	865,16±140,0 b*	859,96±102,3 b**	1179,72±184,6 a	130,60±34,4 b**	808,92±107,2 b**	
	Prata Anã	1550,94±313,42 a**	1383,41±250,9 a*	1859,04±352,9 a**	1323,94±290,5 a	1636,32±263,6 a**	1511,17±317,4 a**	
Plântula Int.	Nanica	756,52±121,8 b**	1248,06±187,6 b**	1314,51±202,3 b**	1811,32±238,9 a	336,71±137,6 b**	994,47±95,0 b**	
	Prata Anã	3237,27±508,2 a**	2659,79±423,1 a**	2742,27±475,3 a**	1998,85±298,0 a	2363,10±235,4 a**	2255,91±351,2 a**	
Poliaminas Totais								
Parte aérea	Nanica	1400,71±109,0 b**	1062,54±49,9 b**	959,75±109,5 b*	1100,00±193,0 a	442,22±85,1 a	304,83±48,7 a	2087,83±288,4 a*
	Prata Anã	3259,38±548,3 a**	2310,52±489,9 a**	1609,84±157,4 a*	1026,73±201,6 a	881,88±150,4 a	859,66±127,1 a	920,50±153,4 b*
Raiz	Nanica	761,05±155,5 b**	1469,16±200,1 a	1259,93±287,3 b**	1660,00±374,0 a	271,39±55,0 b**	1413,88±222,3 a	
	Prata Anã	2123,16±298,2 a**	2021,06±246,8 a	2652,28±221,2 a**	1896,93±261,4 a	1993,89±277,5 a**	1632,61±256,3 a	
Plântula Int.	Nanica	2161,77±262,5 a**	2538,21±209,9 b**	2219,69±221,3 b**	2760,00±246,8 a	699,04±124,1 b**	1718,72±204,7 a	
	Prata Anã	5382,55±433,3 a**	4331,59±313,8 a**	4262,13±368,3 a**	2923,66±288,7 a	2875,77±267,5 a**	2492,29±256,2 a	

Médias entre os cultivares seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% (*) ou 1% (**) pelo teste de Tukey

Espermidina - Os teores da poliamina espermidina (Tabela 6) apresentaram-se inferiores aos de putrescina na parte aérea de ambos os cultivares. Assim praticamente não houve variação no cv. Nanica: 0,50 μ moles/g MMS em K 5 a 20 mM e nulo em K 25 a 30 mM. Por sua vez, no cv. Prata Anã variou de 3,33 a 0,50 μ moles/g MMS de K 5 a 30 mM. Houve diferença estatística entre os cultivares ao nível de 1% em K 5 e 25mM e ao nível de 5% em K 10 e 30 mM, não havendo diferença nos demais.

Na raiz, os teores de espermidina (Tabela 6) no cv. Nanica foram aleatórios, com valores praticamente nulos, com exceção de K 5 e K 20 mM onde detectou-se 0,50 μ moles/g MMS. No cv. Prata Anã a variação foi de 0,83 a 0,50 μ moles/g MMS, com valores também aleatórios. Diferenças significativas entre os cultivares ocorreram ao nível de 1% em todas as concentrações de K.

Na plântula inteira, novamente os valores de espermidina foram aleatórios em ambos os cultivares, com pequenas variações, determinando diferenças significativas ao nível de 1% em todas as concentrações de K, com exceção de K 15 mM que foi ao nível de 5%.

Na parte aérea do cv. Prata Anã ocorreu acúmulo de espermidina (Tabela 7) o qual decresceu drasticamente de K 5 a 30 mM; por outro lado, no cv. Nanica esses valores permaneceram praticamente estáveis, sendo nulos nas concentrações mais elevadas de potássio. Na raiz, os valores do acúmulo dessa poliamina foram aleatórios, sendo que no cv. Nanica foram praticamente nulos nas diferentes concentrações de K; no cv. Prata Anã, os valores foram mais altos, estatisticamente diferentes evidenciando a existência de diferença genômica entre os cultivares. Na plântula inteira, no cv. Nanica, os valores permaneceram praticamente estáveis, sendo nulos nas concentrações mais elevadas de K, sendo que no cv. Prata Anã o comportamento foi idêntico ao observado na parte aérea, ou seja, de um alto valor de acúmulo de espermidina em K 5 mM houve uma queda drástica nos valores mais elevados de K no meio de cultura. Isso estaria evidenciando uma vez mais que a análise da parte aérea de plantas em estresse de potássio é a mais indicada para os estudos do metabolismo desse nutriente em relação ao metabolismo de compostos nitrogenados, do que outras partes da planta.

Nos ápices caulinares (Tabela 6) das plantas do cv. Nanica doadoras dos explantes, o valor de espermidina foram de 1,50 $\mu\text{moles/g MMS}$ e 1,00 $\mu\text{mol/g MMS}$ para o cv. Prata Anã. Houve diferença estatística entre os cultivares ao nível de 1%.

O valor de espermidina acumulada (Tabela 7) foi de 159,00 nmoles/ápice no cv. Nanica e de 79,67 nmoles/ápice no cv. Prata Anã. Houve diferença significativa entre os cultivares ao nível de 1%

Composto Não Identificado (CNI) - Na parte aérea (Tabela 6) do cv. Nanica , os teores de CNI variaram de 5,00 a 1,33 $\mu\text{moles/g MMS}$ em K 5 a 30 mM, sendo 4,33 $\mu\text{moles/g MMS}$ em K 20 mM. No cv. Prata Anã, esses valores variaram de 20,67 a 7,67 $\mu\text{moles/g MMS}$ em K 5 a 30 mM. Houve diferença estatística entre os cultivares ao nível

de 1% em todas as concentrações de K, com exceção de K 20 mM onde não ocorreu diferença ao nível de 5%.

Na raiz (Tabela 6) do cv. Nanica os teores de CNI variaram de 9,00 a 7,50 $\mu\text{moles/g MMS}$ em K 5 a 30 mM; entretanto, houve um aumento em CNI em K 15 mM registrando-se um valor de 13,17 $\mu\text{moles/g MMS}$, o qual decaiu posteriormente. No cv. Prata Anã, houve uma queda de um valor máximo inicial de 27,00 $\mu\text{moles/g MMS}$ em K 5 mM para estabilizar-se a partir de K 10 (19,17 $\mu\text{moles/g MMS}$) a 30 mM (16,67 $\mu\text{moles/g MMS}$). Ocorreu diferença estatística entre os cultivares ao nível de 1% em todas as concentrações de K, com exceção de K 20 mM onde foi ao nível de 5%.

Nas plântulas inteiras (Tabela 6), no cv. Nanica os teores de CNI variaram de 6,29 a 4,10 $\mu\text{moles/g MMS}$ em K 5 a 30 mM, com um pico de 8,44 $\mu\text{moles/g MMS}$ em K 15 mM. No cv. Prata Anã variou de 23,33 a 12,00 $\mu\text{moles/g MMS}$, com tendência para estabilizar-se a partir de K 20 mM. Houve diferença significativa entre os cultivares ao nível de 1% em todas as concentrações de K, com exceção de K 20 mM que foi ao nível de 5%.

Quanto ao acúmulo de CNI na parte aérea (Tabela 7), a tendência dos valores para o cv. Nanica foi a de uma queda de cerca de 50% de K 5 mM (409,56 nmoles/parte aérea) a K 30 mM (185,56 nmoles/parte aérea). No cv. Prata Anã, foi observada uma queda no valor de CNI de cerca de 70% de K 5 mM (1.686,33 nmoles/parte aérea) a K 20 mM (674,92 nmoles/parte aérea), estabilizando-se a partir desta última concentração de K. Houve diferença estatística entre os cultivares ao nível de 1% em K 5, 10, 25 e 30 mM e ao nível de 5% em K 15 mM; não houve diferença em K 20 mM ao nível de 5%.

Na raiz, os valores de acúmulo de CNI (Tabela 7) no cv. Nanica apresentaram uma tendência de aumento de K 5 mM (346,97 nmoles/raiz) a K 20 mM (1.179,72 nmoles/raiz), decrescendo em seguida. No cv. Prata Anã, os valores foram praticamente estáveis variando de 1.550,94 nmoles/raiz (em K 5 mM) a 1511,18 nmoles/raiz (em K 30 mM), com um pico em K 15 mM de 1859,04 nmoles/raiz. Houve diferença estatística entre cultivares ao nível de 1% em K 5, 15, 25 e 30 mM; ao nível de 5% em K 10 mM e em K 20 mM não houve diferença significativa ao nível de 5%.

Na plântula inteira (Tabela 7), no cv. Nanica os valores de acúmulo foram crescentes até K 20 mM (K 5 = 756,53 nmoles/plântula e K 20 = 1.811,32 nmoles/plântula), decrescendo em seguida. No cv. Prata Anã, os valores decresceram até K 20 mM (K 5 = 3.237,28 nmoles/plântula e K 20 = 1998,86 nmoles/plântula), praticamente estabilizando-se em seguida. Houve diferença significativa ao nível de 1% em todas as concentrações de K com exceção de K 20 mM onde não houve diferença estatística ao nível de 5%.

Nos ápices (Tabela 6) do cv. Nanica, o valor de CNI foi de 14,83 μ moles/g MMS e de 8,50 μ moles/g MMS para o cv. Prata Anã. Houve diferença significativa entre os cultivares ao nível de 5%.

O valor acumulado de CNI nos ápices (Tabela 7) do cv. Nanica foi de 1.590,50 nmoles/ápice e de 681,50 nmoles/ápice no cv. Prata Anã. Houve diferença significativa ao nível de 5%.

Poliaminas totais (POT) - No cv. Nanica, os teores poliaminas totais (Tabela 6) na parte aérea variaram de 17,17 μ moles/g MMS a 2,17 μ moles/g MMS em K 5 a 30 mM, sendo que em K 20 mM foi de 7,50 μ moles/g MMS. Nesse cultivar houve um decréscimo linear nos valores de POT de K 5 a 30 mM. No cv. Prata Anã, variou de 39,83 μ moles/g MMS a 8,83 μ moles/g MMS, sendo que em K 20 mM foi de 9,17 μ moles/g MMS. Neste último cultivar houve, portanto, um decréscimo no teor de POT de K 5 a K 20 mM, tendendo a estabilizar-se de K 20 a 30 mM. Ocorreu diferença significativa entre os cultivares ao nível de 1% em todas as concentrações de K com exceção de K 20 mM onde não houve diferença estatística ao nível de 5%. Esses valores de POT equivalem à soma dos valores de PUT, ESPD e CNI.

Na raiz (Tabela 6), os valores de POT variaram no cv. Nanica de 19,83 μ moles/g MMS a 13,17 μ moles/g MMS em K 5 a 30 mM. No cv. Prata Anã, os valores de POT sofreram um aqueda de 37,00 μ moles/g MMS a 18,00 μ moles/g MMS em K 5 a 30 mM. Foi detectada diferença significativa ao nível de 1% em K 5, 10, 15 e 25 mM e de 5% em K 20, sendo que não houve diferença estatística em K 30 ao nível de 5%.

Na plântula inteira (Tabela 6), os valores de POT no cv. Nanica variaram de 17,96 $\mu\text{moles/g MMS}$ a 7,15 $\mu\text{moles/g MMS}$ em K 5 a 30 mM. No cv. Prata Anã, os valores de POT sofreram uma queda drástica entre um valor inicial de 38,70 $\mu\text{moles/g MMS}$ em K 5 mM até 15,06 $\mu\text{moles/g MMS}$ em K 20 mM, tendendo em seguida para estabilização. Houve diferença significativa entre os cultivares ao nível de 1% em todas as concentrações de K, com exceção de K 20 mM que foi a 5%.

Quanto ao acúmulo de poliaminas totais na parte aérea (Tabela 7), no cv. Nanica ocorreu uma queda de um valor inicial de 1.400,71 nmoles/parte aérea em K 5 mM até 304,83 nmoles/parte aérea em K 30 mM; em K 20 mM foi de 1.100,00 nmoles/parte aérea. No cv. Prata Anã variou de 3.259,39 nmoles/parte aérea em K 5 mM a 859,67 nmoles/parte aérea em K 30 mM. Em K 20 mM, esse valor foi de 1.026,74 nmoles/parte aérea. Houve diferença estatística entre cultivares ao nível de 1 % em K 5 a 10 mM; ao nível de 5% em K 15 mM, sendo que não houve diferença em K 20 a 30 mM ao nível de 5%.

Na raiz (Tabela 7), o acúmulo de POT no cv. Nanica aumentou de um valor inicial de 761,06 nmoles/raiz em K 5 mM a 1.413,89 nmoles/raiz em K 30 mM, com um pico em K 20 mM de 1.660,00 nmoles/raiz. No cv. Prata Anã, os valores de POT tenderam a uma estabilização, variando de 2.123,17 nmoles/raiz a 1.632,62 nmoles/raiz em K 5 a 30 mM. Houve diferença significativa entre cultivares ao nível de 1 % em K 5, 15 e 25 mM e não houve diferença nas demais concentrações de K ao nível de 5%.

Na plântula inteira (Tabela 7), o acúmulo de POT no cv. Nanica variou de 2.161,77 nmoles/plântula a 1.718,72 nmoles/plântula em K 5 a 30 mM. No cv. Prata Anã, os valores de POT sofreram uma queda de cerca de 50% do valor inicial de 5.382,56 nmoles/plântula em K 5 mM a 2.492,29 nmoles/plântula. Houve diferença significativa entre cultivares ao nível de 1 % para K 5, 10, 15 e 25 mM e não houve nas demais concentrações de K ao nível de 5%.

Nos ápices (Tabela 6) do cv. Nanica, o teor de POT foi de 19,50 $\mu\text{moles/g MMS}$ e 11,50 $\mu\text{moles/g MMS}$ no cv. Prata Anã; houve diferença significativa ao nível de 5% entre os cultivares. Quanto ao valor acumulado de POT, no cv. Nanica foi de 2.087,83

nmoles/ápice e no cv. Prata Anã 920,50 nmoles/ápice; diferença significativa ocorreu ao nível de 5%.

4.4.1 Correlação potássio - putrescina

Para o cv. Nanica (Figura 49-A) observou-se correlação negativa entre os teores de potássio e putrescina na parte aérea ($r^2 = -0,89^{**}$), na raiz ($r^2 = -0,76^{**}$) e na plântula inteira ($r^2 = -0,87^{**}$). Para o cv. Prata Anã (Figura 49-B), houve também correlação negativa entre os teores de K e putrescina na parte aérea ($r^2 = -0,71^{**}$), na raiz ($r^2 = -0,86^{**}$) e na plântula inteira ($r^2 = -0,78^{**}$). Todas significativas a 1% (**).

Quanto à correlação entre acúmulo de K e putrescina, no cv. Nanica ocorreu correlação negativa na parte aérea ($r^2 = -0,77^{**}$) e na plântula inteira ($r^2 = -0,70^{**}$); na raiz não foi detectada correlação significativa. No cv. Prata Anã, houve correlação negativa na parte aérea ($r^2 = -0,69^{**}$), na raiz ($r^2 = -0,62^{**}$) e na plântula inteira ($r^2 = -0,75^{**}$).

Figura 49 A-B. Correlação na parte aérea entre teores de K e putrescina nos cvs. Nanica (A) e Prata Anã (B), de K 5 a 30 mM.

Lauchert & Wild (1995), encontraram uma correlação linear negativa ($r^2 = - 0,66^{**}$) entre teores de K e putrescina, nas agulhas de árvores nativas de *Picea abies*, com mais de 60 anos de idade, localizadas a uma altitude superior a 600 m. Esses dados corroboram os valores de correlação entre K e putrescina encontrados no presente trabalho.

4.4.2 Relação K/Putrescina - A correlação negativa entre K e putrescina anteriormente apresentada é enfatizada quando os valores dos teores de K e da diamina são relacionados entre si. Assim, na parte aérea (Figura 50-A) do cv. Nanica, a relação K/Put variou de 9,34 a 505,82 em K 5 a 30 mM e no cv. Prata Anã foi de 6,67 a 545,82; em K 20 mM foi de 88,58 no cv. Nanica e de 75,15 para o cv. Prata Anã. Não houve diferença estatística à 5% entre os dois cultivares.

Na raiz (Figura 50-B), o cv. Nanica apresentou K/Put variando de 11,46 a 153,97 em K 5 mM a 25 mM, sendo que em K 20 mM foi de 47,01 No cv. Prata Anã, K/Put foi de 12,48 a 366,44 em K 5 mM a 30 mM, sendo que em K 20 mM foi de 23,13. Não houve diferença estatística ao nível de 5% na relação K/Put da raiz entre os cultivares.

Na plântula inteira (Figura 51), detectou-se uma variação na relação K/Put de 9,96 a 101,85 em K 5 mM a K 30 mM, sendo que em K 20 mM foi de 65,26 no cv. Nanica. Por sua vez, no cv. Prata Anã, K/Put variou de 8,38 a 396,63 em K 5 mM a K 30 mM; em K 20 mM o valor de K/Put foi de 41,05. Não houve diferença estatística à 5% entre os cultivares de K 5 a 20 mM, mas ocorreu diferença ao nível de 1 % em K 25 e 30 mM.

K (mM)	5	10	15	20	25	30	Média K 5 a 30	Ápice
Nanica	9,34	20,35	39,63	88,58	185,29	505,82	141,50 a	134,50±29,80 b**
Prata Anã	6,67	15,35	28,80	75,15	317,39	545,82	164,86 a	239,40±9,90 a**

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% (*) e 1% (**)
(Média K 5 a 30 mM): DMS a 5%= 65,59; CV=162,22% ; (Ápice): DMS a 1%=81,66; CV=11,62

K (mM)	5	10	15	20	25	30	Ápice
Nanica	11,46 a	16,48 a	27,76 a	47,01 a	153,97 a	46,72 b**	134,50±29,80 b**
Prata Anã	12,48 a	19,44 a	20,98 a	23,13 a	67,83 a	366,44 a**	239,40±9,90 a**

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% (*) e 1% (**)
(K 5 a 30 mM): DMS a 5%= 88,10 e 1% =119,48; CV=77,06% ; (Ápice): DMS a 1%=81,66; CV=11,62

Figura 50 A-B. Relação K/Put na parte aérea (A) e raiz (B) dos cvs. Nanica e Prata Anã, de K 5 a 30 mM e nos ápices caulinares (A-B).

Figura 51. Relação K/Put na plântula inteira dos cvs. Nanica e Prata Anã, de K 5 a 30 mM e nos ápices caulinares.

Nos ápices caulinares, a relação K/Put foi de 134,50 no cv. Nanica e 239,40 no cv. Prata Anã, havendo diferença significativa entre os cultivares ao nível de 1%.

A partir dos valores da relação K/putrescina seja nos ápices das plantas doadoras dos explantes seja nas várias partes das plântulas *in vitro*, os quais corroboram os valores das correlações negativas potássio - putrescina, pode-se inferir que mesmo em plantas de bananeira com alto teor de potássio, como as utilizadas no presente trabalho, alguns dos aminoácidos que fazem parte do ciclo da ornitina-uréia (Crocomo,1985), provável e eventualmente, estariam sofrendo reações de descarboxilação que levam à formação de poliaminas, entre elas a putrescina, as quais se dão mais intensamente quando as plantas estão submetidas a estresse nutricional, como quando mantidas em níveis baixos de potássio (Crocomo & Basso, 1974; Malavolta & Crocomo, 1982), condição esta existente no presente trabalho.

Conforme citado anteriormente, Richards & Coleman (1952) foram os primeiros a detectar o acúmulo da diamina putrescina em plantas de cevada deficientes em potássio. Essa descoberta despertou bastante interesse porque a putrescina atingia níveis tóxicos sendo, pelo menos em parte, responsável pelos sintomas característicos da deficiência desse nutriente em várias espécies de plantas superiores (Crocomo & Basso, 1974; Basso & Smith, 1974, Zago, 1978). Vários outros autores passaram a dar sua contribuição ao estudo do metabolismo de compostos nitrogenados pertinente às di- e poliaminas, constando-se sua ocorrência universal no reino vegetal como resposta a um suprimento inadequado de potássio (Malavolta & Crocomo, 1982; Smith, 1984).

Diaminas, como putrescina, e poliaminas, como espermidina e o composto não identificado (CNI) no presente trabalho (e que nas placas de cromatografia de camada delgada se localiza muito próximo à espermina) estão entre os compostos nitrogenados que se acumulam nas plantas superiores submetidas a estresse fisiológico (Rabe, 1990). Uma resposta geral e característica dessa condição é uma elevação nos teores de aminoácidos sendo, no caso de deficiência de potássio, dos aminoácidos livres ornitina, citrulina e arginina (Crocomo & Basso, 1974). Esses aminoácidos fazem parte do ciclo da ornitina-uréia (Crocomo, 1959) e estão diretamente ligados às reações iniciais que levam à formação de putrescina e desta à síntese de poliaminas (Figura 1).

Os meios de cultura em que as plântulas de bananeira de ambos os cultivares estavam crescendo forneceram não só concentrações diferentes e virtualmente adequadas do íon K às células mas também das formas amoniacal e nítrica do nitrogênio. Portanto, as células receberam razões diferentes $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ em cada uma das concentrações de K, conforme indicado na Tabela 8.

Tabela 8. Concentração (mM) do total de N, NO_3^- , NH_4^+ , e da relação $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$, nas diferentes doses de K^+ .

[K] (mM)	5	10	15	20	25	30
$[\text{NO}_3^-]$	31,89	34,39	36,90	39,41	41,91	44,42
$[\text{NH}_4^+]$	28,13	25,63	23,12	20,61	18,11	15,60
Total de N	60,02	60,02	60,02	60,02	60,02	60,02
$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$	1,13	1,34	1,60	1,91	2,31	2,85

Em nenhum dos meios de cultura a concentração do íon amônio foi maior do que a do íon nitrato, sendo que em K 5 mM a concentração de nitrato foi somente ligeiramente superior a do íon amônio; em todos os demais tratamentos a concentração total de nitrato sempre foi superior a do íon amônio. Portanto, não se pode dizer no presente trabalho, que o aumento no teor de putrescina e de outras aminas foi devido a presença de altas concentrações de amônio, como foi observado por alguns autores (Le Rudulier & Goas, 1971). Smith (1984) chama a atenção de que as plantas de soja, com as quais aqueles autores trabalharam, mantidas em nitrato apresentavam o dobro de K do que aquelas crescendo em amônio, fazendo supor que o aumento de putrescina era devido à deficiência de K nas plantas em amônio. Por outro lado, posteriormente, Le Rudulier & Goas (1975) demonstraram que mantendo-se constante a concentração de K nos tecidos de soja e variando-se a concentração de amônio ocorria um acúmulo de putrescina, maior do que em presença de concentrações diferentes de nitrato.

No presente trabalho, os cultivares de bananeira foram mantidos *in vitro* em presença de concentrações crescentes de K, concentrações crescentes de nitrato e decrescentes de amônio, apesar da concentração total de nitrogênio ter permanecido constante. Portanto, o teor e o acúmulo de putrescina, espermidina e de CNI foram devidos aos efeitos da deficiência de potássio nos meios de cultura. Esse fato é corroborado quando se calculam os valores de poliaminas totais (Tabelas 6 e 7), os quais decresceram a medida que o potássio aumentava no meio. Aliás, apesar de Flores & Filner (1984) terem observado que células de fumo crescendo em meio contendo N-amínico ou amídico (ureia) ou ainda amônio como única fonte de N, acumularam putrescina em cerca de 5% de sua massa de matéria seca, Flores (1991) enfatiza que, ao que tudo indica, somente plantas com deficiência de íons K apresentam aumentos significativos de putrescina.

Esse aumento de putrescina está diretamente ligado ao aumento da atividade da enzima arginina descarboxilase (ADC) que em plantas de aveia deficientes em K aumenta drasticamente, cerca de 8 vezes em relação ao controle; esses tecidos de aveia foram utilizados para a purificação dessa enzima (Smith, 1979; Slocum et al., 1984).

Putrescina pode ser formada pela ação da arginina descarboxilase (ADC) sobre arginina resultando em agmatina que sofre descarboxilação e desaminação convertendo-se em putrescina. Putrescina também pode se formar a partir da ação da descarboxilação de ornitina catalizada pela enzima ornitina descarboxilase (ODC) (Figura 1). Uma outra via é através da descarboxilação de citrulina formando N-carbamilputrescina (N-CP) a qual se converte em putrescina via ação de N-CP amido-hidrolase (Malavolta e Crocomo, 1982). A conversão de citrulina em N-CP é catalizada pela descarboxilase de citrulina a qual, como foi demonstrado por Crocomo et al., (1970) ocorre em plantas de gergelim (*Sesamum indicum*) deficientes em potássio.

Recentemente, Watson & Malmberg (1996) investigaram o mecanismo para indução da atividade de ADC em *Arabidopsis thaliana* deficiente em potássio, detectando aumento de 10 vezes na sua atividade com correspondente aumento de 20 vezes no nível de putrescina. Isolamento do DNA genômico e sua amplificação, seguida de clonagem de cDNA, como provas moleculares, indicaram que não havia correlação entre o aumento nos níveis de mRNA-ADC e o aumento na atividade da enzima ADC, pois não existia diferença entre os níveis da mRNA-ADC em plantas deficientes em potássio e em plantas controle e que o aumento na atividade dessa enzima nessas condições estressantes parece não envolver variações nos níveis de mRNA ou de proteína.

Watson & Malmberg (1996) também observaram que ao elevado aumento de putrescina (acima citado) não correspondia um proporcional aumento nos níveis de espermidina e espermina. No presente trabalho (Figura 43-A) foi observado um aumento de cerca de 4 vezes no teor de putrescina na parte aérea quando o cv. Nanica foi mantido em presença da menor dose de potássio (K 5 mM) em relação ao valor encontrado no ápice das plantas doadoras de explantes. Por sua vez, no cv. Prata Anã detectou-se, também na parte aérea, um aumento de cerca de 8 vezes em presença de K 5mM em relação com os teores de putrescina dos ápices correspondentes. Esses números praticamente se repetem quando se consideram os valores de acúmulo de putrescina (Figura 46-A) em ambos os cultivares. Não foram observados aumentos significativos em espermidina e nos valores do composto não identificado (CNI) em ambos os cultivares. Deve-se lembrar que na sequência metabólica, espermidina é um intermediário entre putrescina e espermina (Figura 1).

5 CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho permitem concluir que ápices caulinares de bananeira cvs. Nanica e Prata Anã, mantidos *in vitro*, apresentam diferenças quantitativas de comportamento fisiológico, seja em relação aos valores de massa de matéria seca, seja em número de plântulas, em relação aos níveis de K presentes.

Há uma relação direta entre o desenvolvimento das plântulas de bananeira e os níveis de K, com otimização ao redor de K 15 a 20 mM.

Os valores obtidos para as relações N/K, K/P, K/Ca, K/Mg, K/Ca+Mg, K/S, K/Cu, K/Fe, K/Mn e K/Zn, sempre foram crescentes de K 5 a 30 mM, com exceção de N/K que foi decrescente.

As quantidades de macronutrientes totais absorvidos pelas plântulas seguiram a ordem: N>K>Ca>P>S>Mg (K 5 a 20 mM) e K>N>Ca>P>S>Mg (K 25 a 30 mM) no cv. Nanica; N>K>Ca>P>S>Mg (K 5, 10, 20 e 25 mM) e K>N>Ca>P>S>Mg (K 15 e 30mM) no cv. Prata Anã.

As quantidades de micronutrientes totais absorvidos pelas plântulas seguiram a ordem: Mn>Fe>Zn>Cu (K 5 a 30 mM) no cv. Nanica; Fe>Mn>Zn>Cu (K 10, 20, 25 e 30 mM) e Mn>Fe>Zn>Cu (K 5 e 15 mM) no cv. Prata Anã.

Os teores de putrescina e de poliaminas foram maiores nos níveis mais baixos de potássio, atingindo o máximo em K 5 mM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL - 1995, v.56, p.52, 1996.

ASKAR, A.; RUBACH, K.; SCHORMULLER, J. Thin-layer chromatographic separation of the amine fraction in banana. **Chemical Mikrobiology Technology Lebensm**, v.1, p.187-190, 1972.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA PESQUISA DA POTASSA E DO FOSFATO.
Potássio: necessidade e uso na agricultura moderna. Piracicaba, 1990. 45p.

BAGNI, N. Aliphatic amine as a growth-factor of coconut milk as stimulating cellular proliferation of *Helianthus tuberosus* (Jerusalem artichoke) in vitro. **Experientia**, v.22, p.732-736, 1966.

BAGNI, N. Metabolic changes of polyamines during the germination of *Phaseolus vulgaris*. **New Phytology**, v.69, p.159-164, 1970.

BARROSO, M.; LEVA, A.R.; MURILLO, J.M. La moltiplicazione del melo con la tecnica della mocropagazione. Influenza del mezza nutritivo sul contenuto di alcuni elementi minerali nel callo e negli espanti di mela cv. Golden Delicious. **Rivista Della Ortofruticoltura**, v.69, p.123-131, 1985.

- BASSO, L.C. Significado fisiológico das poliaminas em plantas. In: SIMPÓSIO DE BIOTECNOLOGIA, 5., Piracicaba, 1987. **Anais**. Piracicaba: CEBTEC, 1987. p.403-421.
- BASSO, L.C.; SMITH, T. Effect of mineral deficiency on amine formation in higher plants. **Phytochemistry**, v.13, n.6, p.875-883, 1974.
- BRISKIN, D.P. The plant plasma membrane H^+ - ATPase: biochemistry, transport function and role in plant cell physiology. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 5., Lavras, 1995. **Palestras**. Lavras: UFLA/SBFV, 1995. p.99-110.
- BROETTO, F. Efeito de estresse salino e biológico sobre o metabolismo de calso e suspensão de células de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Piracicaba, 1995. 124p. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.
- BRUN, J. Le “bleu” du bananier en Guinée Française. **Fruits**, v.7, n.7, p.324-329, 1952.
- CARVALHO, J.G. de; PAULA, M.B. de; NOGUEIRA, F.D. Nutrição e absorção da bananeira. **Informe Agropecuário**, v.12, n.133, p.20-32, 1986.
- CHAMPION, J. **El platano**: técnicas agrícolas y producciones tropicales. 2. ed. Barcelona: Blume, 1975. 247p.
- CHARPENTIER, J.M.; MARTIN-PRÉVEL, P. Culture sur milieu artificiel. Carences atténuées ou temporaires en éléments majeurs. Carences en oligo-éléments chez le bananier. **Fruits**, v.20, n.10, p.521-557, 1965.

COHEN, S.S. **Introduction to the polyamines**. Englewood Cliffs: Printice-Hall, 1971. 178p.

COLEMAN, R.G.; RICHARDS, F.J. Physiological studies in plant nutrition: some aspects of nitrogen metabolism in barley and other plants in relation to potassium deficiency. **Annals of Botany**, v.20, p.393-409, 1956.

CROCOMO, O.J. Estudo sobre o metabolismo de uréia-¹⁴C aplicada às folhas do cafeeiro (*Coffea arabica* L., var. Bourbon) normal e deficiente em nitrogênio. Piracicaba, 1959. 83p. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

CROCOMO, O.J. Assimilação do nitrogênio pelas plantas. In: FERRI, M.G. (Coord.). **Fisiologia vegetal 1**. São Paulo: EPU, 1985. v.1, cap.4, p.181-209.

CROCOMO, O.J.; BASSO, L.C. Accumulation of putrescine and related amino acids in potassium deficient *Sesamum*. **Phytochemistry**, v.13, p. 2659-2665, 1974.

CROCOMO, O.J.; MALAVOLTA, E. The uptake of radiophosphate by barley plants influenced by magnesium. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, v.21, p.44-49, 1964.

CROCOMO, O.J.; BRASIL, O.G.; BASSO, L.C. Formation of N-carbamylputrescine from citrulline in *Sesamun*. **Phytochemistry**, v.9, p.1487-1489, 1970.

CROCOMO, O.J.; CATTINI, M.A.; ZAGO, E.A. Acúmulo de aminas e aminoácidos em relação ao nível de potássio em folhas de feijão (*Phaseolus vulgaris*). **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v.17, p.93-102, 1974.

- DESAI, H.V.; METHA, A.R. Changes in polyamine levels during shoot formation, root formation, and callus induction in cultured *Passiflora* leaf discs. **Journal of Plant Physiology**, v.119, p.45-53, 1985.
- DESAMERO, N.V.; ADELBERG, J.W.; HALE, A.; YPUNG, R.E.; RHODES, B.B. Nutrient utilization in liquid/membrane system for watermelon micropropagation. **Plant Cel, Tissue and Organ Culture**, v.33, p.265-271, 1993.
- DIBB, D.W.; THOMPSON Jr., W.R. Interaction of potassium with other nutrients. In: MUNSON, R.D. (Ed.). **Potassium in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy/Crop Science Society of America/Soil Science Society of America, 1985. cap.22, p.515-533.
- DINIZ, J.D.N. Crescimento e absorção mineral em explantes de bananeira (*Musa* sp. AAB), cv. Prata anã, *in vitro*. Piracicaba, 1997. 96p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- DUMORTIER, F.M.; FLORES, H.E.; SHEKHAWAT, N.S.; GALSTON, A.W. Gradients of polyamines and their biosynthetic enzymes in coleoptiles and roots of corn. **Plant Physiology**, v.72, p.915-918, 1983.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura. **Relatório técnico anual do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura-1984**. Cruz das Almas, 1985. p. 59-107: Programa Nacional de Pesquisa da Banana.
- EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Trad. de E. Malavolta. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341p.

EPSTEIN, E.; RAINS, D.W. Carrier-mediated cation transport in barley roots: kinetic evidence for a spectrum of active sites. **Proceedings of the National Academy of Science**, v.53, p.1320-1324, 1965.

FAO. PRODUCTION YEARBOOK - 1996, v.50, n.135, p.167-168, 1997.

FELIX, H.; HARR, J. Association of polyamines to different parts of various plant species. **Physiologia Plantarum**, v.71, p.245-250, 1987.

FENG, J.; BARKER, A.V. Polyamine concentration and ethylene evolution in tomato plants under nutritional stress. **HortScience**, v.28, n.2, p.109-110, 1993.

FLORES, H.E. Polyamines and plant stress. In: ALSCHER, R.G.; CUMMING, J.R. (Eds.). **Stress responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms**. New York: Wiley-Liss, 1990. p.217-239.

FLORES, H.E. Changes in polyamine metabolism in response to abiotic stress. In: SLOCUM, R.D.; FLORES, H.E. (Ed.) **Biochemistry and physiology of polyamines in plants**. Boca Raton; Ann Arbor; London: CRC Press, 1991. cap.15, p.213-228.

FLORES, H.E.; FILNER, P. Putrescine metabolism in tobacco cell suspensions: effect of nitrogen source. **Plant Physiology**, v.75, n.1, p. 19, 1984. Supplement. /Apresentado ao Annual Meeting of the American Society of Plant Physiologists, Davis, 1984 - Program and abstract of papers/

FLORES, H.E.; GALSTON, A.W. Analysis of polyamines in higher plants by high performance liquid chromatography. **Plant Physiology**, v.69, p.701-706, 1982.

- FOX, R.L.; KANG, B.T.; WILSON, G.F. A comparative study of the sulfur nutrition of banana and plantain. **Fruits**, v.34, n.9, p.525-534, 1979.
- FREIBERG, S.R.; STEWARD, F.C. Physiological investigations on the banan plant: III. Factors which affect the nitrogen compounds of the leaves. **Annals of Botany**, v.24, n.93, p.147-157, 1960.
- GALLO, J.R.; HIROCHE, R.; BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R.; FURLANI, A.M.C.; RAMOS, M.T.B. Situação nutricional de bananais do Estado de São Paulo. **Ciência e Cultura**, v.26, n.4, p.355-359, 1974.
- GALSTON, A.W. Polyamines and plant response to stress. In: BACHRACH, U.; HEIMER, Y. (Ed.). **The physiology of polyamines**. Boca Raton: CRC Press, 1989. v.2, cap.7, p.99-106.
- GALSTON, A.W.; KAUR-SAWHNEY, R. Polyamines and plant cells-what's new in plant physiology. **Plant Physiology**, v.11, p.5-8, 1990.
- GALSTON, A.W.; KAUR-SAWHNEY, R. Polyamines as a endogenous growth regulators. In: DAVIES, P.Y. (Ed.). **Plant hormones and their role in plant growth and development**. London: Kluwer Academy Publi., 1987. p.280-295.
- GOMES, J.A. Absorção de nutrientes pela bananeira cultivar prata (Musa AAB, subgrupo prata) em diferentes estádios de desenvolvimento. Piracicaba, 1988. 98p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- GUGGISBERG, A.; HESSE, M. Putrescine, spermidine, spermine and related polyamine alkaloids. **Alkaloids**, v.22, p.85-100, 1983.

HERNANDEZ, M.; LÓPEZ, C.; SOTO, M. Variation estacional de los contenidos foliares en el clon “gran e nano” en relacion com el potasio aplicado al suelo en la zona de Cariari, Pococi. In: REUNION ACORBAT, 7., San José, 1985. p.1-14.

HEWITT, C.W. Leaf analysses as guide to the nutrition of banana. **Empire Journal of Experimental Agriculture**, v.23, n.89, p.11-16, 1955.

ISRAELI, Y.; LAHAV, E.; REUVENI, O. *In vitro* culture of bananas. In: GOWEN, S. **Bananas and plantains**. London: Chapman & Hall, 1995. cap.6, p.147-178.

KAUR-SAWHNEY, R.; APPLEWHITE, P.B. Endogenous protein-bound polyamines: correlation with regions of cell division in tobacco leaves, internodes and ovaries. **Plant Growth Regulation**, v.12, p.223-227, 1993.

KAUR-SAWHNEY, R.; TIBURCIO, A.F.; GALSTON, A.W. Polyamine-mediated control of organogenesis in tobacco thin layers. **Plant Physiology**, v.80, p.190-193, 1986.

KIMBERLY, M.M.; GOLDSTEIN, J.H. Determination of pKa values and total proton distribution pattern of spermidine by carbon-13 nuclear magnetic resonance titrations. **Analls of Chemistry**, v.53, p.789-793, 1981.

LACOEUILHE, J.J. Rythm d’absortion du potassium en relation avec la croissance: cas de l’ananas e du bananier. In: **Potassium in tropical crops and soils**. 1974. p.177-183.

LAHAV, E. Effect of different amounts of potassium on growth of the banana. **Tropical Agriculture**, v.49, n.4, p.231-335, 1972.

- LAHAV, E.; TURNER, D.W. **Banana nutrition**. Berne: IPI, 1983. 62p. (IPI. Bulletin, 7).
- LAHAV, E.; BAREKET, M.; ZAMET, D. The effects of organic manure, KNO₃ and polyfeed on the nutritional balance of a banana plantation under drip irrigation. **Fruits**, v.36, n.4, p.209-216, 1981.
- LAMEIRA, O.A.; PINTO, J.E.B.P.; PASQUAL, M. Propagação *in vitro* da bananeira 'Prata' através da cultura de tecidos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, n.11, p.1613-1617, 1990.
- LANGENEGGER, W.; SMITH, B. L. The effect of potassium application on tissue and soil K, and their relationship to yield of bananas (cv. 'Dwarf cavendish'). **Fruits**, v.41, n.12, p.709-712, 1986.
- LAUCHERT, U.; WILD, A. Studies on the correlation of putrescine and potassium contents in the needles of spruce trees. **Journal of Plant Physiology**, v.147, n.2, p.267-269, 1995.
- LE RUDULIER, D; GOAS, G. Mise en évidence et dosage de quelques amines dans les plantules de *Soja hispida* Moench., privées de leurs cotylédons et cultivées en présence de nitrates, d'urée et de chlorure d'ammonium. **Compte Rendus Academy Science Ser. D.**, v.279, p.161-164, 1971.
- LE RUDULIER, D; GOAS, G. Influence des ions ammonium et potassium sur l'accumulation de la putrescine chez les jeunes plantes de *Soja hispida* Moench. privées de leurs cotylédons. **Physiology Vegetale**, v.13, p.125-136, 1975.

- LIMA, G.P.P. Efeito do cálcio sobre o teor de poliaminas e atividades da peroxidase e redutase de nitrato em calos de arroz (*Oryza sativa* L. cv. IAC 4440). Botucatu, 1994. 85p. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências do Campus Botucatu, Universidade Estadual Paulista.
- LORETI, F.; MORINI, S.; CONCETTI, S. Effect of potassium and nitrogen concentration of growth of peach shoots cultured in vitro. **Acta Horticulturae**, v.227, p.311-317, 1988.
- LOURENÇO, S.O.; CROCOMO, O.J.; NOGUEIRA, I.R.; MALAVOLTA, E. Kinetic studies of phosphorus uptake by excised roots of barley in the presence of magnesium. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.40, n.2, p.171-179, 1968.
- MacCARTHY, J.J.; RATCLIFFE, D.; STREET, H.E. The effect of nutrition medium composition on the growth cycle of *Catharanthus roseus* G. Don Cells growth in batch culture. **Journal of Experimental Botany**, v.31, p.1315-1325, 1980.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 528p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. **O potássio e a planta**. 4.ed. Piracicaba: Institutos da Potassa (EUA e Suíça), 1982. 60p. (Boletim Técnico, 1)

- MALAVOLTA, E.; CROCOMO, O.J. O potássio e a planta. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. **Anais.** Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato (EUA), Instituto Internacional da Potassa (Suíça); Londrina: Fundação IAPAR, 1982. p.95-162.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** Piracicaba: NAGY, 1989. 201p.
- MANOHARAN, K.; GNAMAM, A. Growth stimulating by conditioned medium and spermidine in low-density suspension cultures of rice. **Plant Cell Physiology**, v.33, p.1243-1246, 1992.
- MARCHAL, J.; TEISSON, C.; ESCALANT, J.V.; NAVARRO-MASTACHE, L.C. Echanges d'éléments minéraux et carbonés en culture *in vitro*: cas du bananier. **Fruits**, v.43, n.9, 1988.
- MARINOS, N.G. Studies on submicroscopic aspects of mineral deficiencies. 1. Calcium deficiency in the shoot apex of barley. **American Journal of Botany**. v.49, p.834-841, 1962.
- MARTIN-PRÉVEL, P. La nutrition minérale du bananier dans le monde; première partie. **Fruits**, v.35, n.9, p.503-518, 1980.
- MARTIN-TANGUY, J. The occurrence and possible function of hydroxycinnamoyl acid amine in plants. **Plant Growth Regulation**, v.3, p.381-399, 1985.
- MEDINA, J.C. **Banana:** cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos. 3. ed. Campinas: ITAL, 1990. 302p. (ITAL. Frutas Tropicais, 3).

- MEIJR, E.G.M.; SIMMONDS, J. Polyamine levels in relation to growth and somatic embryogenesis in tissue cultures of *Mendicago sativa* L. **Journal of Experimental Botany**, v.39, p.787-794, 1988.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 3. ed. Berne: International Potash Institute, 1982. 655p.
- MEZZETI, B.; ROSATI, P.; CASALICCHIO, G. *Actinidia deliciosa* C.F. Liang *in vitro*. **Plant Cell, tissue and Organ Culture**, v.25, p.91-98, 1991.
- MINOCHA, R.; MINOCHA, S.C.; KOMAMINE, A.; SHORTLE, W.C. Regulation of DNA synthesis and cell division by polyamines in *Catharanthus roseus* suspension cultures. **Plant Cell Reports**, v.10, p.126-130, 1991.
- MURRAY, D.B. The effect of deficiencies of the major nutrients on growth and leaf analysis of the banana. **Tropical Agriculture**, v.37, n.2, p.97-106, 1960.
- MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. **Physiologia Plantarum**, v.15, p.473-497, 1962.
- NEVES, R.L.L.; FERREYRA, F.F.H.; MACIEL, R.F.P.; FROTA, J.N.E. Extração de nutrientes em banana (*Musa* sp.) cv. Pacovan. **Ciência Agronômica**, v.22, n.1/2, p.115-120, 1991.
- PALAVANS, N.; GALSTON, A.W. Polyamine biosynthesis and titer during various development stages of *Phaseolus vulgaris*. **Physiologia Plantarum**, v.55, p.438-444, 1982.

- PHILLIPS, G.C.; PRESS, M.C.; EASON, A. Polyamines in relation to cell division and xylogenesis in cultured explants of *Helianthus tuberosus*: lack evidence for growth regulatory action. **Journal of Experimental Botany**, v.38, p.164-172, 1987.
- RABE, E. Stress physiology: the functional significance of the accumulation of nitrogen-containing compounds. **Journal of Horticultural Science**, v.65, n.3, p.231-243, 1990.
- RAJAM, M.V. Polyamine biosynthesis inhibitors: new protectants against fungal plant diseases. **Current Science**, v.65, n.6, p.461-469, 1993.
- RICHARDS, F.J.; COLEMAN, R.G. Occurrence of putrescine in potassium-deficient barley. **Nature**, v.170, n.4324, p.460, 1952.
- SHA, L.; McCOWN, B.H.; LLOYD, A.P. Occurrence and cause of shoot-tip necrosis in shoot cultures. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.110, n.5, p.631-634, 1985.
- SHEPHERD, K. Melhoramento genético da bananeira. In: SIMPÓSIO SOBRE BANANEIRA PRATA, 1., Cariacica, 1983. **Anais.** Cariacica: EMCAPA/EMBRAPA, 1983. p.121-146.
- SINGHA, S.; OBERLY, G.H.; TOWNSEND, E.C. Changes in nutrient composition and pH of the culture medium during *in vitro* shoot roliferation of crabapple and pear. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v.11, p.209-220, 1987.

- SLOCUM, R.D.; WEINSTEIN, L.H. Stress induced putrescine accumulation as a mechanism of ammonium detoxification in cereal leaves. In: FLORES, H.E.; ARTECA, R.N.; SHANON, J.C. (Ed.). **Polyamine and ethylene: biochemistry, physiology and interaction**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 1990. p.157-165.
- SLOCUM, R.D.; KAUR-SAWHNEY, R.; GALTON, A.W. The physiology and biochemistry of polyamines in plants. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v.235, n.2, p.283-303, 1984.
- SOUZA, A.S.; SHEPHERD, K.; SOUZA, F.V.D.; ZAIDAN, H.A. Micropropagação e variação somaclonal de bananeira (*Musa* spp.). In: ENCONTRO BRASILEIRO DE BIOTECNOLOGIA VEGETAL, 1., Brasília, 1993. **Resumos**. Brasília: EMBRAPA, 1993. p.77
- SOUZA, A.S.; ZAIDAN, H.A.; SOUZA, F.V.D.; SILVA, K.M.; PAZ, O.P. **Protocolo de micropropagação de bananeira através de ápices caulinares**. Cruz das Almas: CNPMF/EMBRAPA, 1994. 2p. (Série Banana em Foco, 3)
- SOUZA, G.M.; GONÇALVES, A.N. Otimização de meio de cultura para a bananeira (*Musa cavendishii* L.). **Scientia Agricola**, v.53, n.1, p.51-59, 1996.
- SMITH, T.A. N-carabmylputrescine amidohydrolase of higher plants ant its relation to potassium nutrition. **Phytochemistry**, v.4, p.599-607, 1965.
- SMITH, T.A. Putrescine, spermidine and spermine in higher plants. **Phytochemistry**, v.9, p.1479-1486, 1970a.
- SMITH, T.A. The biosynthesis and metabolism of putrescine in higher plants. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v.171, p.988-1001, 1970b.

- SMITH, T.A. Arginine decarboxylase of oat seedlings. **Phytochemistry**, v.18, p.1447-1452, 1979.
- SMITH, T.A. Putrescine and inorganic ions. In: TIMMERMAN, B.N.; STEELINK, C.; LOEWUS, F.A. (Ed.) **Recent advances in phytochemistry: phytochemical adaptation to stress**. New York: Plenum Press, 1984. v.18, cap.2, p.7-54
- SMITH, T.A. Polyamines. **Annual Review of Plant Physiology**, v.36, p.117-143, 1985.
- SMITH, T.A. Plant polyamine: metabolism and function. In: FLORES, H.E.; ARTECA, R.N.; SHANON, J.C. (Ed.) **Polyamine and ethylene: biochemistry, physiology and interaction**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 1990. p.1-23.
- SMITH, T.A. A historical perspective on research in plant polyamine biology. In: SLOCUM, R.D.; FLORES, H.E. (Ed.). **Biochemistry and physiology of polyamines in plants**. London: CRC Press, 1991. cap.1, p.1-22.
- SMITH, T.A.; GARRAWAY, J.L. N-carbamylputrescine: an intermediate in the formation of putrescine in barley. **Phytochemistry**, v.3, p.23-26, 1964.
- SMITH, T.A.; BEST, G.R.; ABBOT, A.J.; CLEMENTS, E.D. Polyamines in Paul's Scarlet rose suspension culture. **Planta**, v.144, p.63-68, 1978.
- STROGONOV, B.P. Salt and ion stresses. In: LEVITT, J. (Ed.) **Responses of plants environmental stresses**. New York: Academic Press, 1980. p.365-488.

- TIBURCIO, A.F.; GENDY, C.A.; TRANTHANH VAN, K. Morphogenesis in tobacco subepidermal cells: putrescine as marker of root differentiation. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v.19, p.43-54, 1989.
- TURNER, D.W.; BARKUS, B. Some factors affecting the apparent root transfer coefficient of banana plants (cv. 'Williams'). **Fruits**, v.36, p.607-613, 1981.
- TWYFORD, I.T. Banane nutrition: a review of principles and practices. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.18, n.5, p.177-183, 1967.
- TWYFORD, I.T.; WALMSLEY, D. The status of some micronutrients in healthy robusta banana plants. **Tropical Agriculture**, v.45, n.4, p.307-315, 1968.
- VELIKY, I.A.; ROSE, D.; ZINK, M.W. Uptake of magnesium by suspension cultures of plant cells (*Ipomoea sp.*). **Canadian Journal of Botany**, v.55, p.1143-1147, 1977.
- WALMSLEY, D.; TWYFORD, I.T. The mineral composition of the robusta banana plant V. Sulphur, iron, manganese, boron, zinc, copper, sodium and aluminium. **Plant and Soil**, v.45, p.595-611, 1976.
- WARNER, R.M.; FOX, R.L. Nitrogen and potassium nutrition of giant Cavendish banana in Hawaii. **Journal of American Society of Horticultural Science**, v. 102, n.6, p.739-743, 1977.
- WATSON, M.; MALMBERG, R. Regulation of *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynrich arginine decarboxylase by potassium deficiency stress. **Plant Physiology**, v.111, n.4, p.1077-1083, 1996.

WILLIAMS, R.R. Mineral nutrition *in vitro*: a mechanistic approach. **Australian Journal of Botany**, v.41, n.2, p.237-251, 1993.

YOUNG, N.D.; GALSTON, A.W. Putrescine and acid stress: induction of arginine decarboxylase activity and putrescine accumulation by low pH. **Plant Physiology**, v.71, p.767-771, 1983.

YOZA, K.; TAKEDA, Y.; SEKIYA, K.; NOGATA, Y.; OHTA, H. Putrescine accumulation in wounded green banana fruit. **Phytochemistry**, v.42, n.2, p.331-334, 1996.

ZAGO, E.A. Acúmulo de putrescina e interrupção da síntese protéica em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) deficiente em potássio. Piracicaba, 1978. 48p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.