



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

JÔNATHAS DA SILVA MELO

**RELAÇÕES ENTRE DEFICIÊNCIA DE POTÁSSIO, METABOLISMO DE
AÇÚCARES E FOTOSSÍNTESE EM PLANTAS DE ALGODOEIRO**

FORTALEZA – CE

2016

JÔNATHAS DA SILVA MELO

**RELAÇÕES ENTRE DEFICIÊNCIA DE POTÁSSIO, METABOLISMO DE
AÇÚCARES E FOTOSSÍNTESE EM PLANTAS DE ALGODOEIRO**

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, na área de concentração em Ciência do Solo, da Universidade Federal do Ceará – UFC, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Albenísio Gomes da Silveira.

Coorientador: Dr. Marcio de Oliveira Martins.

FORTALEZA – CE

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M485r

Melo, Jônathas da Silva.

Relações entre deficiência de potássio, metabolismo de açúcares e fotossíntese em plantas de algodoeiro / Jônathas da Silva Melo. – 2016.

85 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas), Fortaleza, 2016.

Orientação: Prof. Dr. Joaquim Albenísio Gomes da Silveira.

Coorientação: Prof. Dr. Marcio de Oliveira Martins.

1. *Gossypium hirsutum* L.. 2. Estresse nutricional. 3. Fotossíntese. 4. Açúcares. 5. Carboidratos. I. Título.

CDD 631.4

JÔNATHAS DA SILVA MELO

**RELAÇÕES ENTRE DEFICIÊNCIA DE POTÁSSIO, METABOLISMO DE
AÇÚCARES E FOTOSSÍNTESE EM PLANTAS DE ALGODOEIRO**

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, na área de concentração em Ciência do Solo, da Universidade Federal do Ceará – UFC, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Albenísio Gomes da Silveira.

Coorientador: Dr. Marcio de Oliveira Martins.

Aprovada em: 15/Julho/2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Joaquim Albenísio Gomes da Silveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Marcio de Oliveira Martins
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Danilo de Menezes Daloso
Universidade Estadual do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Evandro Nascimento da Silva
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

A Deus e meus amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo e à Universidade Federal do Ceará, que ofereceram esta oportunidade de qualificação, juntamente com infraestrutura. Agradeço aos professores das disciplinas e ao CNPq que me custeou durante o curso. Ao grupo que me atendeu, LabPlant – Laboratório de Metabolismo de Plantas, pelo privilégio único que tive de atuar em laboratório, sendo que os reagentes, equipamentos e estrutura foram, em sua maioria, custeados pelo mesmo.

Ao Prof. Dr. Joaquim Albenísio Gomes da Silveira e ao Prof. Dr. Marcio de Oliveira Martins, pelas orientações, preocupações que tivemos na idealização deste trabalho, pelo tempo disponibilizado, pela compreensão e novas oportunidades de trabalho que me foram abertas. Por felicidade, a minha inexperiência no setor e na bancada de laboratório foram compensadas com a ajuda dos meus orientadores e colegas. Agradeço também aos Professores participantes da banca revisora pelas correções e preciosas sugestões oferecidas.

Aos colegas que concluíram ou realizam a Pós-Graduação, pela oportuna ajuda recebida, especialmente ao Jones Batista Vidal, que deu os primeiros passos em trabalho com potássio em plantas de milho, à Cinthya Fontenele Vieira, que logo no início me permitiu acompanhá-la em seus trabalhos e Jordânia Maria Gabriel Pereira que também logo me inseriu em seus trabalhos. Aos meus amigos de laboratório: Girlaine Martins dos Santos, Eliezer de Araújo Guilherme, Rachel Hellen de Sousa, Adilton de Vasconcelos Fontenele, Ana Karla Moreira Lobo, Fabrício Eulálio Leite Carvalho, Yugo Lima Melo, Juliana Ribeiro da Cunha, João Victor Abreu Cerqueira, Vicente Thiago Cândido Barros Alencar, Rikaely Torres de Sousa, Milton Costa Lima Neto, Rafael Magalhães de Aragão, as alunas de iniciação científica Lorena Ferreira Dodt, Ana Caroline Xavier Silva, Lara Mesquita Pinheiro, Carmem Lícia Rios Fontenele Lima e Raysa Mayara de Jesus Sousa.

Ao Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, que me ofereceu auxílio para as primeiras medidas de potássio. Aos colegas da turma de ingresso no mestrado (2014.2): Hermano Melo Queiroz, Francisco Ítalo Fernandes de Oliveira, Cícera Juliana Cruz da Silva, José Alessandro Guimarães Lima, Ademir Silva Menezes, Ulai Libni Carvalho de Carvalho, Edgleudo Coelho de Sousa e Denise de Castro Lima (doutoranda). Tenho amigos em outros setores, que conheço apenas pelo primeiro nome, em especial: Roberto (Prof. Chico) e Emanuel (Prof. Tadeu), do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da UFC.

RELAÇÕES ENTRE DEFICIÊNCIA DE POTÁSSIO, METABOLISMO DE AÇÚCARES E FOTOSSÍNTESE EM PLANTAS DE ALGODOEIRO

RESUMO: O potássio (K^+) é um nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, participando de funções vitais como abertura estomática, fotossíntese e respiração. A crescente deficiência de potássio em solos agrícolas levará à sua deficiência em plantas, sendo que um dos problemas ocasionados é o acúmulo de açúcares em folhas. Diante deste contexto, foi estudado o distúrbio no metabolismo fotossintético e de açúcares na deficiência de potássio e sua recuperação em folhas de diferentes idades em algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.). Após a germinação, as plântulas foram transplantadas para potes contendo 2,8 L da solução de Hoagland e Arnon (1950). Foram aplicados os tratamentos de controle (+K: 8,0 mM de K^+), deficiente (-K: 0,12 mM de K^+) e recuperação de K^+ . O material vegetal foi coletado após 23 dias de tratamento, quando foi observada redução da fotossíntese nas seis primeiras folhas (F1 a F6, contadas da base). Imediatamente, o tratamento de recuperação foi aplicado em plantas -K remanescentes, e consistiu na substituição da solução -K pela solução +K. Após 4 dias deste tratamento, todo o material vegetal foi coletado. As folhas mais jovens foram mais susceptíveis a alterações do crescimento, fotossíntese e metabolismo de açúcares envolvidos com potássio. Na deficiência, grande parte do potássio residual foi translocado para as folhas mais novas. Ainda que os níveis de potássio na deficiência não tivessem variado entre as folhas F1 e F5, houve diferença marcante na produção de matéria seca, área foliar, fotossíntese e metabolismo de açúcares. Assim, os níveis críticos de potássio que limitaram estes processos foram maiores em folhas jovens. Devido à elevada C_i em folhas deficientes, de F1 a F5, as limitações bioquímicas parecem ter sido a causa primária da redução fotossintética nestas folhas, conquanto que as causas estomáticas fossem a causa secundária. Em folhas jovens, a glicose foi o único açúcar aumentado que poderia estar relacionado à modulação negativa da fotossíntese na deficiência de potássio. Em folhas velhas, a redução fotossintética não foi modulada por açúcares. Nestas folhas, a privação de potássio afetou negativamente o crescimento, fotossíntese e o metabolismo de açúcares, mas estes processos puderam ser recuperados ao suprimir-se a deficiência. As folhas velhas foram menos susceptíveis a alterações destes indicadores, mas foram menos passíveis de serem recuperados. Conclui-se que os níveis similares de potássio em folhas de diferentes idades determinam diferentes respostas ao crescimento, fotossíntese e o metabolismo de açúcares, sugerindo que estes processos possam ter sido modulados indiretamente.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum* L., Estresse nutricional, Fotossíntese, Açúcares, Carboidratos.

RELATIONSHIP BETWEEN THE K⁺-DEFICIENCY, METABOLISM SUGARS AND PHOTOSYNTHESIS IN COTTON PLANTS

ABSTRACT: Potassium (K⁺) is an essential macronutrient for plant growth and development, participating in vital functions such as stomatal conductance, photosynthesis and respiration. The increasing K⁺-deficiency in agricultural soils will lead to K⁺-deficiency in plants, and one of the problems caused is the accumulation of sugars in deficient leaves. View of this context, this research, was studied the disorder in photosynthetic metabolism of sugars in potassium deficiency and its recovery in leaves of different ages in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). After germination, seedlings were transplanted into pots containing 2.8 L of Hoagland and Arnon's solution (1950). The control (+K: 8.0 mM), K⁺-deficient (-K: 0.12 mM) and K⁺-recovery treatments were applied. The plant material was sampled after 23 days of treatment, when it was observed reduction of photosynthesis in the first six leaves (F1 to F6, from the base). Immediately, the recovery treatment was applied to the remaining -K plants, and consisted in replacing the -K by +K solution. After 4 days of treatment, whole plant material was sampled. The youngest leaves were more susceptible to changes in growth, photosynthesis and sugars metabolism involved with potassium. On K⁺-deficiency, most of the K⁺ residual in oldest leaves was translocated to the younger. On K⁺-deficiency, although potassium had not varied between F1 and F5 leaves, there was a marked difference in dry matter production, leaf area, photosynthesis and sugars metabolism. Thus, the K⁺-critical levels that limited these processes were higher in young leaves. Due to the high C_i in deficient leaves, metabolic limitations appear to be the primary cause for reducing photosynthesis in F1 to F5 leaves. On the young leaves, the increased glucose was the only sugar which could be related to downregulation of photosynthesis in K⁺-deficiency. On the old leaves, reducing photosynthesis in K⁺-deficiency and recovery treatments was not related to the content of sugars. In young leaves, deprivation of potassium negatively affects growth, photosynthesis and sugars metabolism, but these processes could be recovered by removing up the deficiency. Old leaves are less susceptible to changes in these indicators, but are less susceptible to being recovered. It is concluded that similar potassium levels in leaves of different ages determine different responses to growth, photosynthesis and sugars metabolism, suggesting that these processes may have been modulated indirectly.

Keywords: K⁺-Recovery, Nutritional stress, Photosynthesis, Sugars, Carbohydrates.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização subcelular de isoenzimas invertases e vias de descarga do floema	20
Figura 2 – Atividades das principais enzimas no metabolismo de açúcares em folhas	21
Figura 3 – Matéria seca de folhas FJ, folhas F1-F6, caules e raízes (A), das folhas F1-F6 (B) e distribuição do percentual de matéria seca (C) em plantas de algodoeiro crescendo em solução nutritiva completa (+K), deficiente (-K) e após período de recuperação de K ⁺ (Rec)	32
Figura 4 – Aspecto visual de folhas F1-F6 de plantas de algodoeiro crescendo em solução nutritiva completa (+K), deficiente (-K) e após período de recuperação de K ⁺ (Recuperação)	33
Figura 5 – Aspecto visual da parte aérea de plantas de algodoeiro crescendo em solução nutritiva completa (+K) e deficiente em K ⁺ (-K)	34
Figura 6 – Aspecto visual de raízes de plantas de algodoeiro crescendo em solução nutritiva completa (+K) e deficiente em K ⁺ (-K)	34
Figura 7 – Área foliar de F1 a F6 (A), altura (B) e diâmetro do caule principal (C) de plantas de algodoeiro crescendo em solução nutritiva completa (+K) e deficiente em K ⁺ (-K)	35
Figura 8 – Conteúdo de K ⁺ de folhas FJ, folhas F1-F6, caules e raízes (A), das folhas de F1 a F6 (B) e distribuição do percentual de K ⁺ (C) em plantas de algodoeiro crescendo em solução nutritiva completa (+K), deficiente (-K) e após período de recuperação de K ⁺ (Rec)	37
Figura 9 – Danos de membrana (DM) nas folhas de F1 a F6 de plantas de algodoeiro crescendo em solução nutritiva completa (+K), deficiente (-K) e após período de recuperação de K ⁺ (Rec)	38
Figura 10 – Conteúdo relativo de água (CRA) nas folhas de F1 a F6 de plantas de algodoeiro crescendo em solução nutritiva completa (+K), deficiente (-K) e após período de recuperação de K ⁺ (Rec)	39
Figura 11 – Parâmetros fotossintéticos de fotossíntese líquida (P _N) (A), concentração intercelular de CO ₂ (C _i) (B), condutância estomática (g _s) (C) e transpiração (E) (D) nas folhas de F1 a F6 de plantas de algodoeiro crescendo em solução nutritiva completa (+K), deficiente (-K) e após período de recuperação de K ⁺ (Rec)	40

Figura 12 – Parâmetros de fluorescência da clorofila <i>a</i> nas folhas de F1 a F6 de plantas de algodoeiro crescendo em solução nutritiva completa (+K), deficiente (–K) e após período de recuperação de K ⁺ (Rec), de taxa de transporte de elétrons (ETR) e rendimento quântico fotoquímico ($\Delta F/F_m'$)	41
Figura 13 – Açúcares solúveis totais nas folhas F1 e F5 de plantas de algodoeiro crescendo em solução nutritiva completa (+K), deficiente (–K) e após período de recuperação de K ⁺ (Rec)	42
Figura 14 – Conteúdos de sacarose (A), amido (B), glicose (C) e frutose (D) nas folhas F1 e F5 de plantas de algodoeiro crescendo em solução nutritiva completa (+K), deficiente (–K) e após período de recuperação de K ⁺ (Rec)	44
Figura 15 – Atividades de sacarose fosfato sintase (SFS) (A), sintase da sacarose (SS) (B), invertase ácida solúvel (IAS) (C) e invertase neutra (IN) (D) nas folhas F1 e F5 de plantas de algodoeiro crescendo em solução nutritiva completa (+K), deficiente (–K) e após período de recuperação de K ⁺ (Rec)	46
Figura 16 – Conteúdos de clorofila <i>a</i> (A), clorofila <i>b</i> (B), carotenóides totais (C) e clorofilas totais (D) nas folhas F1 e F5 de plantas de algodoeiro crescendo em solução nutritiva completa (+K), deficiente (–K) e após período de recuperação de K ⁺ (Rec)	47
Figura 17 – Modelo sugerido para o metabolismo de açúcares: (A) em folhas deficientes em K ⁺ , comparado ao controle; (B) em recuperação de K ⁺ , em comparação à deficiência de K ⁺	54
Figura 18 – Fotos do experimento envolvendo avaliações de deficiência mineral de potássio, fotossíntese e metabolismo de açúcares em folhas de diferentes idades, e submetidas a uma recuperação	80
Figura 19 – Fotos do experimento envolvendo avaliações de deficiência mineral de potássio, fotossíntese e metabolismo de açúcares em folhas de diferentes idades, e submetidas a uma recuperação	81
Figura 20 – Fotos do experimento envolvendo avaliações de deficiência mineral de potássio, fotossíntese e metabolismo de açúcares em folhas de diferentes idades, e submetidas a uma recuperação	82
Figura 21 – Fotos de experimentos prévios ao experimento final envolvendo avaliações de deficiência mineral de potássio em plantas de algodoeiro cv. FM 910	83
Figura 22 – Fotos do trabalho apresentado no “XV Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal”, evento realizado em Foz do Iguaçu/PR, Brasil, no período de	

28/09 a 02/10/2015, com o título: “Potassium deficiency induces CO₂ assimilation reduction through negative modulation of Rubisco in cotton plants (*Gossypium hirsutum* L.)” 84

Figura 23 –Banner apresentado no “XV Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal”, evento realizado em Foz do Iguaçu/PR, Brasil, no período de 28/09 a 02/10/2015, com o título: “Potassium deficiency induces CO₂ assimilation reduction through negative modulation of Rubisco in cotton plants (*Gossypium hirsutum* L.)” 85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matéria seca (g) dos tratamentos de controle (+K), deficiência (-K) e recuperação de K ⁺ (Rec)	65
Tabela 2 – Área foliar (cm ²) dos tratamentos de controle (+K) e deficiência em K ⁺ (-K)	66
Tabela 3 – Diâmetro do caule principal (mm) dos tratamentos de controle (+K) e deficiência em K ⁺ (-K)	66
Tabela 4 – Altura das plantas (cm) dos tratamentos de controle (+K) e deficiência em K ⁺ (-K)	66
Tabela 5 – Conteúdo de K ⁺ (g 100 g ⁻¹ MS) dos tratamentos de controle (+K), deficiência (-K) e recuperação de K ⁺ (Rec)	67
Tabela 6 – Danos de membranas (%) dos tratamentos de controle (+K), deficiência (-K) e recuperação de K ⁺ (Rec)	68
Tabela 7 – Conteúdo relativo de água (%) dos tratamentos de controle (+K), deficiência (-K) e recuperação de K ⁺ (Rec)	69
Tabela 8 – Assimilação líquida de CO ₂ (μmol m ⁻² s ⁻¹) dos tratamentos de controle (+K), deficiência (-K) e recuperação de K ⁺ (Rec)	70
Tabela 9 – Concentração intercelular de CO ₂ (Pa) dos tratamentos de controle (+K), deficiência (-K) e recuperação de K ⁺ (Rec).	71
Tabela 10 – Condutância estomática (mol m ⁻² s ⁻¹) dos tratamentos de controle (+K), deficiência (-K) e recuperação de K ⁺ (Rec)	72
Tabela 11 – Transpiração (mmol m ⁻² s ⁻¹) dos tratamentos de controle (+K), deficiência (-K) e recuperação de K ⁺ (Rec)	73
Tabela 12 – Taxa de transporte de elétrons (ETR) dos tratamentos de controle (+K), deficiência (-K) e recuperação de K ⁺ (Rec)	74
Tabela 13 – Rendimento quântico do fotossistema II (ΔF/Fm') dos tratamentos de controle (+K), deficiência (-K) e recuperação de K ⁺ (Rec)	75
Tabela 14 – Conteúdo de açúcares solúveis totais (μmol g ⁻¹ MS) dos tratamentos de controle (+K), deficiência (-K) e recuperação de K ⁺ (Rec)	76
Tabela 15 – Conteúdo de sacarose (μmol g ⁻¹ MS) dos tratamentos de controle (+K), deficiência (-K) e recuperação de K ⁺ (Rec)	76
Tabela 16 – Conteúdo de amido (μmol g ⁻¹ MS) dos tratamentos de controle (+K), deficiência (-K) e recuperação de K ⁺ (Rec)	76

Tabela 17 –Conteúdo de glicose ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MS) dos tratamentos de controle (+K), deficiência (-K) e recuperação de K^+ (Rec)	77
Tabela 18 –Conteúdo de frutose ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MS) dos tratamentos de controle (+K), deficiência (-K) e recuperação de K^+ (Rec)	77
Tabela 19 –Atividade de sacarose fosfato sintase (SFS) ($\mu\text{mol mg}^{-1}$ Proteína h^{-1}) dos tratamentos de controle (+K), deficiência (-K) e recuperação de K^+ (Rec)	77
Tabela 20 –Atividade de sacarose sintase (SS) ($\mu\text{mol mg}^{-1}$ Proteína h^{-1}) dos tratamentos de controle (+K), deficiência (-K) e recuperação de K^+ (Rec)	78
Tabela 21 –Atividade de invertase ácida solúvel (IAS) ($\mu\text{mol mg}^{-1}$ Proteína h^{-1}) dos tratamentos de controle (+K), deficiência (-K) e recuperação de K^+ (Rec)	78
Tabela 22 –Atividade de invertase neutra (IN) ($\mu\text{mol mg}^{-1}$ Proteína h^{-1}) dos tratamentos de controle (+K), deficiência (-K) e recuperação de K^+ (Rec)	78
Tabela 23 –Conteúdos de clorofila a (mg g^{-1} MS), clorofila b (mg g^{-1} MS), carotenóides totais (mg g^{-1} MS) e clorofilas totais (mg g^{-1} MS) em folhas F1 e F5 dos tratamentos de controle (+K), deficiência (-K) e recuperação de K^+ (Rec)	79

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

K^+	Potássio na forma iônica
P_N	Fotossíntese líquida
g_s	Condutância estomática
ATP	Trifosfato de adenosina
ROS	Espécies reativas de oxigênio
K_m	Constante de Michaelis-Menten
C_i	Concentração intercelular de CO_2
C_c	Concentração cloroplástica de CO_2
g_s	Condutância estomática
g_m	Condutância do mesofilo
E	Transpiração
P_i	Fosfato inorgânico
SFS	Sacarose fosfato sintase
SS	Sacarose sintase
IAS	Invertase ácida solúvel
IN	Invertase neutra
IPC	Invertase de parede celular
HK	Hexoquinase
Rubisco	Ribulose 1,5-bifosfato carboxilase oxigenase
PPFD	Densidade de fluxo de fótons fotossintéticos
IRGA	Analisador de gás infravermelho
$\Delta F/F_m'$	Rendimento quântico efetivo do fotossistema II
ETR	Taxa de transporte de elétrons do fotossistema II
CRA	Conteúdo relativo de água
DM	Danos de membranas
FJ	Grupo de folhas mais jovens

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Importância do potássio e seu papel na fotossíntese	17
1.2	O papel do potássio no metabolismo de açúcares em plantas	18
2	HIPÓTESE E OBJETIVOS	23
2.1	Hipótese	23
2.2	Objetivo geral	23
2.3	Objetivos específicos	23
3	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1	Material vegetal e condições de crescimento	24
3.2	Estratégia experimental	24
3.3	Parâmetros de trocas gasosas e fluorescência da clorofila <i>a</i>	25
3.4	Conteúdo relativo de água e danos de membranas	25
3.5	Determinação do conteúdo de potássio	26
3.6	Determinações do conteúdo de açúcares	26
3.7	Determinações de atividades enzimáticas	28
3.8	Determinações do conteúdo de clorofilas e carotenóides	29
3.9	Determinações de parâmetros de crescimento	30
3.10	Análises estatísticas	30
4	RESULTADOS	31
4.1	Parâmetros de crescimento	31
4.2	Indicadores de estresse	38
4.3	Parâmetros de trocas gasosas e fluorescência da clorofila <i>a</i>	39
4.4	Metabolismo de açúcares	42
4.5	Conteúdo de clorofilas e carotenóides	46
5	DISCUSSÃO	48
5.1	Considerações finais	55
6	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS	57
	APÊNDICE A – DADOS TABELADOS	65
	APÊNDICE B – FOTOS DO EXPERIMENTO	80