

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

RAUL SANTIN ALMEIDA

**Perfil fisiológico e da expressão de transportadores de fosfato da  
cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) durante a simbiose  
com micorriza arbuscular**

Piracicaba

2007

RAUL SANTIN ALMEIDA

**Perfil fisiológico e da expressão de transportadores de fosfato da  
cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) durante a simbiose  
com micorriza arbuscular**

Tese apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura  
da Universidade de São Paulo para obtenção do título de  
Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Biologia na Agricultura e no Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Antonio Vargas de Oliveira Figueira

Piracicaba-SP

2007

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP**

Almeida, Raul Santin  
Perfil fisiológico e da expressão de transportadores de fosfato da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) durante a simbiose com micorriza arbuscular / Raul Santin Almeida; orientador Antonio Vargas de Oliveira Figueira. -- Piracicaba, 2007.  
187 p. : fig.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Biologia na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Expressão gênica 2. Fósforo 3. Micorrizas arbusculares  
4. qPCR 5. Sacarose I. Título

CDU 549.22:633.61

ALMEIDA, R. S. Perfil fisiológico e da expressão de transportadores de fosfato de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) durante a simbiose com micorrizas arbusculares. 2007. 187 F. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

## ERRATA

Pág.	Linha	Onde se lê:	Leia-se:
<b>Resumo</b>			
9	1	de fósforo (Pi)	de fósforo inorgânico (Pi)
<b>Abstract</b>			
11	1	low soil phosphorus (Pi)	low soil inorganic phosphorus (Pi)
12	11	phosphorus acquisition and leve,	phosphorus acquisition and use,
12	13	shoots were harvest	shoots were harvested
12	15	in mycorrhizedl or non-mycorrhizedl	in mycorrhized or non-mycorrhized
12	21	non-mycorrhizedl plants.	non-mycorrhized plants.
12	24	leaves from mycorrhizd	leaves from mycorrhized...
12	25	photosynthetic rate but withut	photosynthetic rate but without...
12	28	is easier... refernce gene.	is easier.... reference gene.
13	9	expressed in mycorrhizedl	expressed in mycorrhized
29	10	os compostos exsudatos	os compostos exsudados
29	24	Cluster roots (ou proteoid roots)...	Raízes proteóides .....
35	9	indicaram que estes não essências	indicaram que estes não seriam essenciais
35	14	vias de sinalização na plantas que ativam	vias de sinalização que ativam respostas de defesa na planta,
36	3	os interesses na descubra mecanismos	os interesses em descobrir mecanismos
46	7	citoplasma da planta	citoplasma de células da folha
51	16	estéreocóspico,	estereoscópico,
54	15	pacote estatístico SAS,	pacote estatístico SAS (SAS,1989),
54	26	médias de Tukey.	médias de Tukey (SAS, 1989).
57	13	A folha é considerada com bom indicadora	A folha é considerada como um bom indicador
60	13	que a +3 (sem nervura central) de referência.	que a folha +3 de referência (sem nervura central).
79	1	começaram o experimento com menor valor de MS total,	tinham no início (14 dpi) o menor valor de MS total,
81	4	Para o P a RER média do tratamento tratadas	Para o P, a RER média do tratamento
81	23	o que ser benéfico,	o que pode ser benéfico,
87	15	concentração de ATR	concentração de açúcares redutores totais (ATR)
91	Fig. 7	Sac (pmoles)	Sac (pmoles mg <sup>-1</sup> )
98	6	housekeeping genes have being	housekeeping genes have been
100	21	otimização do agrícola do fósforo	otimização do uso agrícola do fósforo
127	27	utilizando randômico e de <i>bootstrap</i>	utilizando reamostragem <i>bootstrap</i>
136	11	código de TC do bando	código de TC do banco
<b>Referências</b>			
180.	Scheiger P, Jakobsen I. Direct measurement of phosphorus uptake by native arbuscular mycorrhizal fungi with field-gorwn winter wheat. <i>Agron J</i> (Madison) 2000;91:998-1002. (citado na página 166)		
192.	Liu J, Blaylock LA, Endre G, Cho J, Town CD, VandenBosch KA and Harrison MA. Transcript profiling coupled with spatial expression analyses reveals genes involved in distinct developmental stages of an arbuscular mycorrhizal symbiosis. <i>Plant Cell</i> (Rockville) 2003;15:2106–2123. (citado na página 120, linhas 9 e 13)		

## **DEDICATÓRIA**

*Brindo à casa*

*Brindo à vida*

*Aos meus pais,*

*a minha Família,*

*com todo meu Amor e sempre.*

“O Mundo de Deus é grande

Cabe numa mão fechada

O pouco com Deus é muito

O muito sem Deus é nada...”

## **UMA VEZ**

*“Uma vez, perguntei a Seu Pastinha  
O que era a capoeira  
E ele, mestre velho respeitado,  
Ficou um tempo calado,  
Revirando a sua alma  
Depois respondeu com calma,  
Em forma de ladainha:  
A capoeira  
É um jogo, é um brinquedo,  
É se respeitar o medo,  
É dosar bem a coragem  
É uma luta,  
É manha de mandingueiro,  
É o vento no veleiro,  
Um lamento na senzala  
É um berimbau bem tocado,  
É um corpo arrepiado,  
Um sorriso de menininho  
A capoeira  
É o vôo de um passarinho,  
O bote da cobra coral...  
Sentir na boca  
Todo o gosto do perigo,  
É sorrir para o inimigo  
E apertar a sua mão  
A capoeeeeira  
É o grito de Zumbi  
Ecoando no quilombo,  
É se levantar do tombo  
Antes de chegar ao chão  
É o ódio,  
É a esperança que nasce,  
Um tapa sutil na face  
Que foi arder no coração  
Enfim,  
É aceitar o desafio  
Com vontade de lutar  
A capoeira  
É um barco pequenino  
Solto nas ondas do mar...”*

(Mestre Tony Vargas)

*“the living together of differently named organisms...”  
... independent on the outcome of the interaction.”  
“symbiosis”*

*by De Bary, its original definition.*



*“.....Jack Harley would have said, “it does not matter how you define [a mycorrhiza], what matters is how it functions at cellular, whole plant and ecosystem levels”, ...*

*"É sempre melhor ser otimista do que ser pessimista. Até que tudo dê errado, o otimista sofreu menos"  
Armando Nogueira*

*Doce ou etílico, o mel da cana brota sem abelhas (autor desconhecido)*

*“A literatura e a arte de modo geral é uma forma precária,  
mas ainda assim poderosa de afirmar a imortalidade”  
(Ariano Suassuna)*

**A ciência se immortaliza através de obras literárias, é a arte do saber, e a biologia a arte da vida!**

## AGRADECIMENTOS

Desde o início dessa jornada, que vem dos tempos remotos do início do século XXI, quando ainda não se tinham recursos, sempre foi possível contar com o auxílio e colaboração de outros grupos de pesquisa, o que foi singular e gratificante no desenvolvimento desse projeto imortalizado nessa Tese. Não apenas pelo apoio estrutural dos respectivos laboratórios, mas principalmente por estarem abertos e suscetíveis aos nossos “apelos” científicos favorecendo ao aprendizado. Portanto gostaríamos de agradecer a:

Prof. Dr. Antonio Figueira – pela orientação e apoio incondicional em momento algum desacreditando da capacidade, sempre com curtas e oportunas palavras. A todos os membros da equipe do Lab. De Melhoramento de Plantas pelo profissionalismo e convívio familiar.

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Adriana Pinheiro Martinelli pela orientação, apoio e palavras sábias nos momentos difíceis, a todos os profissionais e amigos do CENA-USP.

Dr. Eugênio Ulian pelo apoio e disposição em todos os momentos, que na época representante do Centro de Tencnologias Canavieiras – contrubuido gentilmente com fornecimento do material vegetal.

Prof. Dr. Ricardo Ferraz de Olivera pelo apoio, amizade e disponibilidade da excelente estrutura do Laboratório de Plantas cultivadas Sob Estresse.

Prof. Dr. Cassio Abreu H. Junior – que sempre deu suporte e estrutura para a análise de nutrientes no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do CENA-USP.

Dr. Alexandre Sebbenn pela orientação nas análises de estatística e amizade.

Prof. Dr. Márcio Lambais Rodrigues e equipe dos Laboratório de Microbiologia Molecular e Microbiologia do Solo da Esalq-USP – pela disponibilidade dos inóculos de *Glumos clarum* e estrutura da casa de vegetação. Agradecer em especial aos técnicos



Denise de L. C. Mescolotti e , Luis Fernando Baldesin e aos hoje doutores Daniele Takahashi e Simão Lindoso de Souza.

Agradeço a todos Amigos/irmãos/colegas integrantes do Laboratório de Melhoramento de Plantas do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (LAMP-CENA-USP). Aos funcionários Wlamir Godoy, Raquel Orsi e Luís Eduardo Fonseca, pela orientação, amizade e auxílio nas várias fases deste trabalho. Aos Professores das disciplinas cursadas e à Seção de Pós-graduação do CENA-USP. Agradeço aos colegas da Pós-graduação e da Associação dos Pós-graduandos do CENA-USP, pelo convívio e aprendizado mútuo.

Ao Prof. Dr. Marcos Buckerigde, do Instituto de Botânica da USP, pela disponibilização da infra-estrutura Laboratorial, em especial a doutoranda Andréa Brandão pela sua dedicação, profissionalismo e amizade contribuindo de forma singular na fase final deste trabalho. À Fabiana Cannavan e à Profa. Dra. Siu Mui Tsai, do Laboratório de Biologia Celular e Molecular do CENA-USP, Ao Prof. Dr. Marcelo Menossi, do Laboratório de Genoma Funcional e Bioinformática do Centro de Biologia Molecular e Engenharia Genética, UNICAMP, pela oportunidade de parceria junto ao Doutor Rodrigo Drummond, grande personalidade.

Aos amigos do LAMP-CENA-USP, Henrique e Joni (gringos), Mariana, Tercílio, Deborah, Luís César (Cézinha), Gildemberg (Jupará), Lorena, Janaína, Kido, Jeanne, Renato, Nebó, Lígia, Silvio, Felipe, João Bortoleto, Jurema, Aline, Daniela, Arthur, Rodrigo, Paulo Albuquerque, Silvana, Rodrigo Latado, Ariane, Ângela, Danielle Scotton pelo convívio diário em equipe, pelo auxílio em várias situações, sugestões, críticas e opiniões em prol do desenvolvimento deste trabalho. Ao amigo Vagner Benedito, pela experiência partilhada na pesquisa com sugestões sempre interessantes. Aos meus irmãos Matheus e Thiago Benatti e família.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão de bolsa de Doutorado.

## RESUMO

ALMEIDA, R. S. Perfil fisiológico e da expressão de transportadores de fosfato de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) durante a simbiose com micorrizas arbusculares. 2007. 187 F. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

As plantas apresentam diversas adaptações fisiológicas à baixa disponibilidade de fósforo (Pi) do solo. Este trabalho discute os custos fisiológicos e energéticos associados com essas estratégias, focado nas respostas da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) à disponibilidade de Pi durante a simbiose com micorrizas arbusculares (*Glomus clarum*). Esses custos são importantes componentes para a adaptação a solos com baixo Pi, afetando a aquisição e conteúdo de fósforo; o crescimento e concentração de açúcares em tecidos vegetais. Plantas de cana-de-açúcar foram cultivadas em vasos com ou sem micorrizas (*Glomus clarum*), e sob a disponibilidade de baixo (20 mg kg<sup>-1</sup>) ou alto (202 mg kg<sup>-1</sup>) fósforo. Raízes e parte-aérea foram coletadas para as análises após 14, 30, 44 e 58 dias pós-inoculação (dpi) com *Glomus clarum*. A condição de BP causou a deficiência de Pi nas plantas, micorrízicas ou não. As plantas sob AP continham um teor foliar de Pi adequado, e partir dos 44 dpi acumularam pelo menos 6 vezes mais Pi parte-aérea, do que as cultivadas sob BP, efeito mais evidente nas micorrízicas. A eficiência de absorção, indicada pelo acúmulo de Pi na parte-aérea a uma dada biomassa da raiz, foi igual para todos os tratamentos, sugerindo que as eficiências radicular e micorrízica da absorção de Pi foram similares, independentemente da doses de Pi. A disponibilidade de fósforo não afetou a biomassa total das plantas, sendo as cultivadas sob BP mais eficientes na utilização deste nutriente. Por outro lado, as plantas micorrízicas suplementadas com BP apresentaram maior crescimento da raiz e redução na parte-aérea, resultando no aumento da proporção raiz:parte-aérea. Aos 58 dpi, a glicose, frutose e sacarose presente nas folhas de plantas micorrízicas foi 3,8, 2,3 e 2,4 vezes respectivamente mais concentrada do que nas não micorrízicas. Esses resultados sugerem que, nestas condições experimentais, o estabelecimento da simbiose não foi uma associação mutualística típica, afetando o perfil de crescimento e a alometria da cana cultivada com BP. As concentrações de fotoassimilados na folhas de planta micorrízicas indicam que houve aumentos nas taxas fotossintéticas, mas isso não resultou no maior crescimento do macrosimbionte. A tecnologia de

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

