

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**“MATURADORES ASSOCIADOS À BORO E SILÍCIO APLICADOS
VIA FOLIAR EM CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp.)”**

GLAUBER HENRIQUE PEREIRA LEITE

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em Agronomia
(Agricultura)

BOTUCATU – SP

Dezembro – 2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**“MATURADORES ASSOCIADOS À BORO E SILÍCIO APLICADOS
VIA FOLIAR EM CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp.)”**

GLAUBER HENRIQUE PEREIRA LEITE
Engenheiro Agrônomo, MSc.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em Agronomia
(Agricultura)

BOTUCATU – SP

Dezembro – 2010

Leite, Glauber Henrique Pereira, 1978-
L533m Maturadores associados à boro e silício aplicados via
foliar em cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) / Glauber
Henrique Pereira Leite. - Botucatu : [s.n.], 2010.
xxiv, 326 f. : il., gráfs. Color., tabs. color.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Fa-
culdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2010
Orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol
Inclui bibliografia.

1. Boro. 2. Maturadores. 3. *Sacharum* spp. 4. Silício.
I. Crusciol, Carlos Alexandre Costa. II. Universidade
Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de
Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: MATURADORES ASSOCIADOS À BORO E SILÍCIO APLICADOS VIA
FOLIAR EM CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp.)

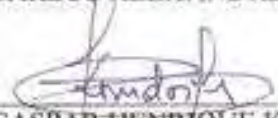
ALUNO: GLAUBER HENRIQUE PEREIRA LEITE

ORIENTADOR: PROF. DR. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

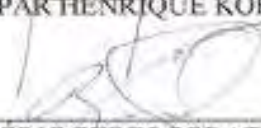
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL



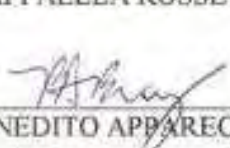
PROF. DR. GASPAR HENRIQUE KORNDORFER



PROF. DR. ROGÉRIO PERES SORATTO



PROFª DRª RAFFAELLA ROSSETTO



PROF. DR. BENEDITO APARECIDO BRAZ

Data da Realização: 11 de janeiro 2010.

“Eu acredito que o ponto alto da vida de um homem, a sua maior realização, é aquele momento em que ele deu o sangue por uma boa causa e está caído, exausto, no campo de batalha – vitorioso.”

Autor: Vince Thomas Lombardi (1913-1970), o primeiro treinador campeão do Super Bowl, vencendo-o duas vezes consecutivas com o Green Bay Packers, em 1967 e 1968.

“Só tem o direito de criticar aquele que pretende ajudar!”

Autor: Abraham Lincoln (1809-1865), 16º presidente dos Estados Unidos da América (1861-1865).

OFEREÇO

Aos meus pais, Benedito Aristides Pereira Leite e Emília M. M. C. Pereira Leite, pelas palavras de consolo, fortalecimento e edificação, por todo sacrifício, oportunidade e confiança; por me mostrarem que a felicidade está nos pequenos acontecimentos e que todo trabalho só é válido quando há amor. Vocês me ensinaram que não devemos nos comparar com os outros, mas com o melhor que podemos fazer. Enfim, aprendi que na vida há coisas simples e importantes, simples como eu e importantes como vocês !!!

Aos meus irmãos, Alex Marinho Pereira Leite e Gleice Maria Marinho Pereira Leite, e à todos membros da família Pereira Leite e Marinho, pelo carinho, amizade e energia positiva; embora muitas vezes ausente, vocês sempre estiveram junto à mim em meus pensamentos.

DEDICATÓRIA ESPECIAL

Aos companheiros Dr. Émerson Borghi e Dr. Rogério Farinelli, os quais tenho orgulho em chamá-los de irmãos, agradeço com profundo carinho os anos de convivência, a amizade, o companheirismo, o apoio e os conselhos sempre positivos e encorajadores.

À Gabriela Ferraz de Siqueira, carinhosamente chamada pelos mais íntimos de “Bibi”, gostaria de agradecer pelo companheirismo, atenção, carinho e amizade. “Bibi” você é uma daquelas pessoas raras com um objetivo único: dar alegria às pessoas que lhe cercam! Que Deus lhe pague tudo isso, pois com certeza nunca poderei pagar tanta gentileza! Por fim, de coração... Obrigado por tudo!

À minha namorada Juliana Borelli por sua grandiosa colaboração e apoio desprendidos nestes últimos meses que antecederam a concretização desta etapa de minha vida. Talvez Deus queira que nós conheçamos algumas pessoas erradas antes de encontrar a pessoa certa, para que saibamos, ao encontrá-la, agradecer por esta benção! Obrigado por tudo!

Agradecimentos

Primeiramente à Deus pela existência, força, serenidade, perfeição e por suas diversas e imprescindíveis ferramentas necessárias para revelar-me a verdadeira estrada.

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol, carinhosamente conhecido como “Chefe”, mais que um orientador, um grande amigo e conselheiro; obrigado pela orientação, amizade e principalmente pela confiança. Muitos são professores, poucos são mestres; os professores ensinam por palavras em templos, com os mestres aprendemos por ações e exemplos.

Aos professores da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Waldemar Gastoni Venturini Filho (Faculdade de Ciências Agronômicas – Campus de Botucatu) e Giuseppina Pace Pereira Lima (Instituto de Biociências – Campus de Botucatu) pelos ensinamentos e incentivo!

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro concedido através de auxílio à pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo.

À DuPont do Brasil pelo apoio financeiro imprescindível para condução deste projeto de pesquisa.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal (Agricultura) da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA – Unesp, Campus de Botucatu), em especial à Vera Lúcia Rossi, Ilanir Rosane Rosa Bocetto e Dorival de Arruda Pires pelo auxílio e colaboração.

Aos amigos e membros “eternos” da República Santa Cerva pelos longos anos de amizade e convivência e aos colegas do curso de pós-graduação pela colaboração e incentivo, em especial à Camila Cristina Bueno Sacomani, Alan Suriano, Juliano Carlos Calonego (e aos seus pais, carinhosamente chamados de “Tio Zé” e “Tia Maria”), Gustavo Spadotti Amaral Castro e Anne Caroline, enfim à todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Grupo COSAN – Unidade Barra (Usina da Barra) pela cessão das áreas agrícolas, apoio e contribuição para o desenvolvimento deste estudo. Agradecimento especial ao Técnico Agrícola Sebastião Santos Ribeiro (coordenador de desenvolvimento técnico), Adauto Aparecido Biega (encarregado de desenvolvimento técnico), Fernando Zola (analista de controles operacionais), e aos auxiliares de desenvolvimento técnico de campo, Alex Sandro Bispo dos Santos, Alex Sandro Medolago, Antônio Francisco dos Santos, Dirceu Olímpio, Eduardo Rogério Olímpio, Elton Fernando Dias Nunes, Everton Carlos Barduzzi, José Osmano Santana, Júnio da Silva Santana, Leandro Aparecido da Cruz, Leandro Aparecido Del Turco, Luciano Rogério Ribeiro, Paulo Roberto Ribeiro, Ricardo da Silva, Ronaldo Sidnei de Sousa, Valdemir Martins de Oliveira e Eduardo Mariano.

Meus sinceros agradecimentos!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	XII
LISTA DE FIGURAS.....	XVI
1. RESUMO.....	1
2. SUMMARY.....	5
3. INTRODUÇÃO.....	8
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	11
4.1 Importância e perspectivas para a cultura da cana-de-açúcar (<i>Saccharum</i> spp.).....	11
4.2 Bioquímica I: enzimas relacionadas ao controle do acúmulo de sacarose nos colmos da cana-de-açúcar.....	13
4.3 Bioquímica II: enzimas relacionadas ao stress oxidativo e alterações na fisiologia e produtividade vegetal.....	20
4.4 Boro (B).....	28
4.4.1 Absorção, translocação e funções na planta.....	28
4.5 Silício (Si).....	33
4.5.1 Absorção, translocação e funções na planta.....	33
4.6 Maturadores.....	37
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	40
5.1 Localização e caracterização da área experimental e das variedades de cana-de-açúcar.....	40
5.2 Delineamento experimental e caracterização dos experimentos.....	42
5.2.1 Maturadores associados ao boro aplicados via foliar em cana-de- açúcar.....	43
5.2.2 Maturadores associados ao silício aplicados via foliar em cana- de-açúcar.....	43
5.3 Instalação e condução dos experimentos.....	44

5.4 Avaliações experimentais.....	45
5.4.1 Determinação tecnológica.....	45
5.4.1.1 Pol cana (%).....	46
5.4.1.2 Pureza caldo (%).....	46
5.4.1.3 AR cana (%).....	46
5.4.1.4 Fibra cana (%).....	46
5.4.1.5 Curvas de maturação (pol cana).....	47
5.4.1.6 Amido.....	47
5.4.2 Determinação bioquímica.....	48
5.4.2.1 Determinação das enzimas invertases ácida solúvel (SAI) e neutra (NI) em caldo de cana-de-açúcar.....	48
5.4.2.1.1 Determinação da atividade da SAI e NI.....	48
5.4.2.2 Determinação da atividade das enzimas peroxidase (POX), superóxido desmutase (SOD) e catalase (CAT) em folhas de cana-de- açúcar.....	49
5.4.2.3 Determinação da quantidade de carotenóides, clorofila a, clorofila b, antocianinas e compostos fenólicos totais.....	51
5.4.3 Determinação nutricional.....	53
5.4.3.1 Determinação de boro (B) no tecido vegetal.....	54
5.4.3.2 Determinação de silício (Si) no tecido vegetal.....	54
5.4.3.3 Determinação de potássio (K) no tecido vegetal.....	55
5.4.4 Determinação biométrica.....	55
5.4.4.1 Altura das plantas de cana-de-açúcar.....	55
5.4.4.2 Diâmetro dos colmos.....	55
5.4.4.3 Produtividade de colmos.....	55
5.4.4.4 Produtividade de açúcar (pol).....	56
5.4.4.5 Rebrota da soqueira.....	56

5.5 Análise estatística.....	56
6. RESULTADOS e DISCUSSÃO.....	57
6.1 Experimentos conduzidos no início das safras 2007 e 2008.....	57
6.1.1 Maturadores associados ao boro aplicados via foliar em cana-de-açúcar.....	57
6.1.1.1 Atividade das enzimas invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no caldo do terço superior dos colmos.....	57
6.1.1.2 Teor de boro nas folhas da cana-de-açúcar.....	63
6.1.1.3 Altura das plantas e diâmetro dos colmos.....	66
6.1.1.4 Parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar referentes ao 1/3 superior e aos 2/3 inferiores (porção mediana e basal) dos colmos.....	71
6.1.1.5 Curvas de maturação da cana-de-açúcar.....	85
6.1.1.6 Amido no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar.....	91
6.1.1.7 Produtividade de colmos (TCH) e açúcar (TPH).....	94
6.1.1.8 Atividade das enzimas oxidativas peroxidase (POX), superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar.....	99
6.1.1.9 Rebrota da soqueira e teores de antocianinas, carotenóides, clorofila (a+b) e compostos fenólicos totais.....	107
6.1.2 Maturadores associados ao silício aplicados via foliar em cana-de-açúcar.....	113
6.1.2.1 Atividade das enzimas invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no caldo do terço superior dos colmos	113
6.1.2.2 Teor de silício e potássio nas folhas da cana-de-açúcar.....	119
6.1.2.3 Altura das plantas e diâmetro dos colmos.....	123
6.1.2.4 Parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar referentes ao 1/3 superior e aos 2/3 inferiores (porção mediana e basal) dos colmos.....	127
6.1.2.5 Curvas de maturação da cana-de-açúcar.....	140

6.1.2.6 Amido no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar.....	146
6.1.2.7 Produtividade de colmos (TCH) e açúcar (TPH) da cana-de-açúcar.....	149
6.1.2.8 Atividade das enzimas oxidativas peroxidase (POX), superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar.....	154
6.1.2.9 Rebrotas da soqueira e teores de antocianinas, carotenóides, clorofila (a+b) e compostos fenólicos totais.....	163
6.2 Experimentos conduzidos no final das safras 2006 e 2007.....	170
6.2.1 Maturadores associados ao boro aplicados via foliar em cana-de-açúcar.....	170
6.2.1.1 Atividade das enzimas invertases ácida (SAI) e neutra (NI) em caldo de cana-de-açúcar.....	170
6.2.1.2 Teor de boro nas folhas da cana-de-açúcar.....	176
6.2.1.3 Altura das plantas e diâmetro dos colmos.....	179
6.2.1.4 Parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar referentes ao 1/3 superior e aos 2/3 inferiores (porção mediana e basal) dos colmos.....	183
6.2.1.5 Curvas de maturação da cana-de-açúcar.....	195
6.2.1.6 Amido no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar.....	199
6.2.1.7 Produtividade de colmos (TCH) e açúcar (TPH).....	201
6.2.1.8 Atividade das enzimas oxidativas peroxidase (POX), superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar.....	205
6.2.1.9 Rebrotas da soqueira e teores de antocianinas, carotenóides, clorofila (a+b) e compostos fenólicos totais.....	212
6.2.2 Maturadores associados ao silício aplicados via foliar em cana-de-açúcar.....	217
6.2.2.1 Atividade das enzimas invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no caldo do terço superior dos colmos.....	217

6.2.2.2 Teor de silício e potássio nas folhas da cana-de-açúcar.....	222
6.2.2.3 Altura das plantas e diâmetro dos colmos.....	226
6.2.2.4 Parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar referentes ao 1/3 superior e aos 2/3 inferiores (porção mediana e basal) dos colmos.....	230
6.2.2.5 Curvas de maturação da cana-de-açúcar.....	242
6.2.2.6 Amido no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar.....	245
6.2.2.7 Produtividade de colmos (TCH) e açúcar (TPH).....	247
6.2.2.8 Atividade das enzimas oxidativas peroxidase (POX), superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) em folhas (folha +3) de cana- de-açúcar.....	251
6.2.2.9 Rebrota da soqueira e teores de antocianinas, carotenóides, clorofila (a+b) e compostos fenólicos totais.....	258
7. CONCLUSÕES.....	264
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	268

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Altura das plantas e diâmetro dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito de maturadores, associados ou não ao boro, na instalação e na colheita do experimento. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2007 e 2008.....	70
Tabela 2. Atividade da enzima peroxidase (POX) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2007/2008.....	104
Tabela 3. Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2007/2008.....	105
Tabela 4. Atividade da enzima catalase (CAT) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2007/2008.....	106
Tabela 5. Rebrotas da soqueira da cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito de maturadores, associados ou não ao boro, aos 60 dias após a colheita (DAC). Igaraçu do Tietê, SP, safras 2007/2008.....	111
Tabela 6. Antocianinas, carotenóides, clorofila (a+b) e fenóis totais nas folhas da soqueira (rebrotas) da cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito de maturadores, associados ou não ao boro, aos 60 dias após a colheita (DAC). Igaraçu do Tietê, SP, safras 2007/2008.....	112
Tabela 7. Teor de potássio (g kg^{-1} de matéria seca) nas folhas (folha +3) da cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito dos maturadores, associados ou não à aplicação de silício. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2007/2008.....	121
Tabela 8. Altura das plantas e diâmetro dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito de maturadores, associados ou não ao silício, na instalação e na colheita do experimento. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2007 e	126

2008.....	
Tabela 9. Atividade da enzima peroxidase (POX) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2007/2008.....	160
Tabela 10. Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2007/2008.....	161
Tabela 11. Atividade da enzima catalase (CAT) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2007/2008.....	162
Tabela 12. Rebrotas da soqueira da cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito de maturadores, associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2007/2008.....	168
Tabela 13. Antocianinas, carotenóides, clorofila (a+b) e fenóis totais nas folhas da soqueira (rebrotas) da cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito de maturadores, associados ou não ao silício, aos 60 dias após a colheita (DAC). Igaraçu do Tietê, SP, safras 2007/2008.....	169
Tabela 14. Altura das plantas e diâmetro dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito de maturadores, associados ou não ao boro, na instalação e na colheita do experimento. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2006/2007.....	182
Tabela 15. Atividade da enzima peroxidase (POX) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2006/2007.....	209
Tabela 16. Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2006/2007.....	210
Tabela 17. Atividade da enzima catalase (CAT) em folhas (folha +3) de cana-	211

de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao boro. Igarapu do Tietê, SP, safras 2006/2007.....

Tabela 18. Rebrotas da soqueira da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito de maturadores, associados ou não ao boro. Igarapu do Tietê, SP, safras 2006/2007..... 215

Tabela 19. Antocianinas, carotenóides, clorofila (a+b) e fenóis totais nas folhas da soqueira (rebrotas) da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito de maturadores, associados ou não ao boro, aos 60 dias após a colheita (DAC). Igarapu do Tietê, SP, safras 2006/2007..... 216

Tabela 20. Teor de potássio (g kg^{-1} de matéria seca) nas folhas (folha +3) da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito dos maturadores, associados ou não à aplicação de silício. Igarapu do Tietê, SP, safras 2006/2007..... 224

Tabela 21. Altura das plantas e diâmetro dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito de maturadores, associados ou não ao silício, na instalação e na colheita do experimento. Igarapu do Tietê, SP, safras 2006/2007..... 229

Tabela 22. Atividade da enzima peroxidase (POX) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao silício. Igarapu do Tietê, SP, safras 2006/2007..... 255

Tabela 23. Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao silício. Igarapu do Tietê, SP, safras 2006/2007..... 256

Tabela 24. Atividade da enzima catalase (CAT) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao silício. Igarapu do Tietê, SP, safras 2006/2007..... 257

Tabela 25. Rebrotas da soqueira da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito de maturadores, associados ou não ao silício. Igarapu do Tietê, SP, safras 2006/2007..... 262

Tabela 26. Antocianinas, carotenóides, clorofila (a+b) e fenóis totais nas folhas da soqueira (rebrotada) da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito de maturadores, associados ou não ao silício, aos 60 dias após a colheita (DAC). Igaraçu do Tietê, SP, safras 2006/2007..... 263

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Precipitação pluvial (mm mês ⁻¹) e temperaturas (°C) máxima, mínima e média registrados na Estação Meteorológica da Fazenda Bosque, Igarapu do Tietê (SP).....	42
Figura 2. Atividade das enzimas invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarapu do Tietê (SP), safra 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %	61
Figura 3. Atividade das enzimas invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarapu do Tietê (SP), safra 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	62
Figura 4. Teor de boro em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarapu do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	65
Figura 5. Pol cana (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarapu do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	74
Figura 6. Pureza do caldo (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarapu do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	75
Figura 7. Açúcares redutores (AR cana, %) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores	76

associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....

Figura 8. Fibra cana (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 77

Figura 9. Pol cana (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 81

Figura 10. Pureza do caldo (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 82

Figura 11. Açúcares redutores (AR cana, %) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 83

Figura 12. Fibra cana (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 84

Figura 13. Curvas de maturação da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 90

Figura 14. Amido (%) no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença 93

mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	
Figura 15. TCH (ton colmos ha ⁻¹) da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safra 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	97
Figura 16. TPH (ton pol cana ha ⁻¹) da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safra 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	98
Figura 17. Atividade das invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê (SP), safra 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	117
Figura 18. Atividade das invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê (SP), safra 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	118
Figura 19. Teor de silício em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	122
Figura 20. Pol cana (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	129
Figura 21. Pureza caldo (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não	130

ao silício. Igarauçu do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....

Figura 22. Açúcares redutores cana (AR cana, %) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarauçu do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 % 131

Figura 23. Fibra cana (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarauçu do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 132

Figura 24. Pol cana (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarauçu do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 136

Figura 25. Pureza caldo (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarauçu do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 137

Figura 26. Açúcares redutores (AR cana, %) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarauçu do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 138

Figura 27. Fibra cana (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarauçu do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 139

Figura 28. Curvas de maturação da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarauçu do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima 145

significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	
Figura 29. Amido (%) no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	148
Figura 30. TCH (ton colmos ha ⁻¹) da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê (SP), safra 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	152
Figura 31. TPH (ton pol ha ⁻¹) da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê (SP), safra 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	153
Figura 32. Atividade das enzimas invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safra 2006. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	174
Figura 33. Atividade das enzimas invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safra 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	175
Figura 34. Teor de boro em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	178
Figura 35. Pol cana (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não	187

ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....

Figura 36. Pureza do caldo (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 188

Figura 37. Açúcares redutores cana (AR cana, %) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 189

Figura 38. Fibra cana (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 190

Figura 39. Pol cana (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 191

Figura 40. Pureza do caldo (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 192

Figura 41. Açúcares redutores cana (AR cana, %) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 193

Figura 42. Fibra cana (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam 194

diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	
Figura 43. Curvas de maturação da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	198
Figura 44. Amido (%) no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	200
Figura 45. TCH (ton colmos ha ⁻¹) da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safra 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	203
Figura 46. TPH (ton pol cana ha ⁻¹) da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safra 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	204
Figura 47. Atividade das invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê (SP), safra 2006. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	220
Figura 48. Atividade das invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê (SP), safra 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....	221
Figura 49. Teor de silício em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício.	225

Igarauçu do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....

Figura 50. Pol cana (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarauçu do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 234

Figura 51. Pureza caldo (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarauçu do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 235

Figura 52. Açúcares redutores cana (AR cana, %) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarauçu do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 236

Figura 53. Fibra cana (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarauçu do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 237

Figura 54. Pol cana (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarauçu do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 238

Figura 55. Pureza caldo (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarauçu do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 239

Figura 56. Açúcares redutores (AR cana, %) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarauçu do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras 240

verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.....

Figura 57. Fibra cana (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 241

Figura 58. Curvas de maturação da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 244

Figura 59. Amido (%) no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 246

Figura 60. TCH (ton colmos ha⁻¹) da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê (SP), safra 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 249

Figura 61. TPH (ton pol ha⁻¹) da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê (SP), safra 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %..... 250

1. RESUMO

O trabalho teve por objetivo estudar a eficácia da aplicação foliar de boro e silício associados ou não à maturadores, com diferentes mecanismos de ação, e as alterações fisiológicas e bioquímicas na cana-de-açúcar, suas implicações na produtividade, qualidade tecnológica e rebrota da soqueira, tanto em aplicação de início como de final de safra. Para tanto, a pesquisa foi composta de experimentos conduzidos nos meses de setembro de 2006 e 2007 (momento da aplicação dos tratamentos envolvendo a variedade de cana-de-açúcar de maturação média-tardia SP80-3280) e março de 2007 e 2008 (momento da aplicação dos tratamentos envolvendo a variedade de cana-de-açúcar de maturação precoce RB855453). Os experimentos foram conduzidos nas Fazendas Santa Maria e Bosque, situadas no município de Igarçu do Tietê, Estado de São Paulo, pertencente ao GRUPO COSAN – Unidade Barra. Os tratamentos consistiram na aplicação de 16 (dezesesseis) tratamentos, divididos em 2 (dois) experimentos distintos, representados conforme a seguir: Experimento 1 – aplicação de 3 (três) maturadores com diferentes mecanismos de ação, sendo classificados como inibidores (Glifosate e Sulfometuron metil) e retardante do crescimento vegetal (KNO_3) e a testemunha (maturação natural), associados ou não à aplicação foliar de boro e; Experimento 2 – aplicação dos maturadores supracitados e a testemunha (maturação natural), associados ou não à aplicação foliar de silício. O delineamento experimental utilizado nos experimentos foi o em

blocos casualizados, com cinco repetições. O estudo da aplicação foliar de boro, associado ou não a compostos químicos com diferentes mecanismos de ação (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), no início das safras 2007 e 2008, possibilitou as seguintes conclusões: a) o micronutriente isolado ou associado aos agentes químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil) induziu significativas alterações na atividade das invertases ácida e neutra, embora de forma e intensidades distintas conforme o mecanismo de ação dos compostos químicos, aliado às condições climáticas; b) a associação do boro com o Glifosate e o Sulfometuron metil elevou os níveis da invertase neutra no caldo do terço superior dos colmos; c) a aplicação de boro, isolado ou associado aos compostos químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), aumentou o teor do micronutriente nas folhas da cana-de-açúcar; d) o boro associado aos maturadores Glifosate e Sulfometuron metil possibilitou antecipação no corte da matéria-prima em relação à aplicação isolada de tais produtos químicos; e) a aplicação de boro, isolado ou associado aos compostos químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), não influenciou a rebrota da soqueira; f) o emprego isolado dos maturadores apresentou efeito significativo e positivo sobre a qualidade tecnológica da matéria-prima. O estudo da aplicação foliar de silício, associado ou não a compostos químicos com diferentes mecanismos de ação (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), no início das safras 2007 e 2008, possibilitou as seguintes conclusões: a) o silício isolado ou associado aos agentes químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil) induziu significativas alterações na atividade das invertases ácida e neutra, embora de forma e intensidades distintas conforme o mecanismo de ação dos compostos químicos, aliado às condições climáticas; b) a associação do elemento com os produtos químicos Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil elevou os níveis da invertase neutra no caldo do terço superior dos colmos; c) a aplicação do silício, isolado ou associado aos compostos químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), aumentou o teor do elemento nas folhas da cana-de-açúcar; d) o silício associado aos maturadores Glifosate e Sulfometuron metil possibilitou antecipação no corte da matéria-prima em relação à aplicação isolada de tais produtos químicos; e) a aplicação de silício, isolado ou associado aos compostos químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), não influenciou a rebrota da soqueira; f) o emprego isolado dos maturadores apresentou efeito significativo e positivo sobre a qualidade tecnológica da matéria-prima. O estudo da aplicação foliar de boro, associado ou não a compostos químicos com diferentes mecanismos de ação (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron

metil), no final das safras 2006 e 2007, possibilitou as seguintes conclusões: a) o micronutriente isolado ou associado aos agentes químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil) induziu significativas alterações na atividade das invertases ácida e neutra, embora de forma e intensidades distintas conforme o mecanismo de ação dos compostos químicos, aliado às condições climáticas; b) a aplicação de boro, isolado ou associado aos compostos químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), aumentou o teor do micronutriente nas folhas da cana-de-açúcar; c) a associação do micronutriente com os agentes químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil) não afetou a produtividade de colmos; d) o boro associado ao maturadores Glifosate e Sulfometuron metil permitiu explorar o potencial genético da variedade quanto ao acúmulo de sacarose nos colmos, implicando em melhoria na qualidade tecnológica da matéria-prima, com reflexos na produtividade de açúcar; e) a aplicação de boro, isolado ou associado aos compostos químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), não influenciou a rebrota da soqueira; f) a associação do micronutriente ao KNO_3 não trouxe benefícios significativos à cana-de-açúcar; g) o emprego isolado dos maturadores apresentou efeito significativo e positivo sobre a qualidade tecnológica da matéria-prima. O estudo da aplicação foliar de silício, associado ou não a compostos químicos com diferentes mecanismos de ação (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), no final das safras 2006 e 2007, possibilitou as seguintes conclusões: a) o silício isolado ou associado aos agentes químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil) induziu significativas alterações na atividade das invertases ácida e neutra, embora de forma e intensidades distintas conforme o mecanismo de ação dos compostos químicos, aliado às condições climáticas; b) a aplicação do silício, isolado ou associado aos compostos químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), aumentou o teor do elemento nas folhas da cana-de-açúcar; c) o silício associado ao maturador Glifosate, Sulfometuron metil e KNO_3 permitiu explorar o potencial genético da variedade quanto ao acúmulo de sacarose nos colmos, implicando em melhoria na qualidade tecnológica da matéria-prima, com reflexos na produtividade de açúcar; d) a aplicação de silício, isolado ou associado aos compostos químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), não influenciou a rebrota da soqueira; e) o emprego isolado dos maturadores apresentou efeito significativo e positivo sobre a qualidade tecnológica da matéria-prima.

Palavras-chaves: *Saccharum spp.*, maturadores, boro, silício, invertases, peroxidase, catalase, superóxido dismutase, biometria, produtividade (colmos e açúcar), qualidade tecnológica e rebrota da soqueira.

RIPENERS ASSOCIATED WITH BORON AND SILICON FOLIAR APPLICATION IN SUGARCANE (*Saccharum* spp.). Botucatu, 2010. 299p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura), Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Author: Glauber Henrique Pereira Leite

Adviser: Carlos Alexandre Costa Crusciol

2. SUMMARY

The work aimed to study the effectiveness of foliar application of boron and silicon, with and without maturation, with different mechanisms of action, and physiological and biochemical alterations in sugarcane, its implications on productivity, quality and technological regrowth stump, both application early as the end of harvest. For this, the research consisted of experiments conducted during September 2006 and 2007 (when the treatments involving the variety of sugarcane in medium-late maturing SP80-3280) and March 2007 and 2008 (when the treatments involving the variety of sugarcane early ripening RB855453). The experiments were conducted in Santa Maria and Bosque Farms, located in the municipality of Igarapu Tietê, São Paulo, which belongs to the group COSAN - Barra. The treatments consisted of applying 16 (sixteen) treatments, divided into 2 (two) separate experiments, represented as follows: Experiment 1 - the application of three (3) maturation with different mechanisms of action and is classified as inhibitors (Glyphosate and Sulfomethuron methyl) and plant growth retardant (KNO_3) and control (natural ripening), with and without foliar application of boron and Experiment 2 - maturation application above and the control (natural ripening), associated or not with foliar application of silicon. The experimental design used in the experiments was a randomized block with five replications. The study of foliar application of boron, with or without the chemical compounds with different mechanisms of action (Glyphosate, KNO_3 and Sulfomethuron methyl) at the beginning of the harvest 2007 and 2008, allowed the following

conclusions: a) the micronutrient alone or in combination with agents chemical (Glyphosate, KNO_3 and Sulfomethuron methyl) induced significant changes in acid invertase activity and neutral, albeit as different intensities and the mechanism of action of chemical compounds, together with environmental conditions; b) the association of boron with Glyphosate and Sulfomethuron methyl elevated levels of neutral invertase in the juice of the upper third of the stems; c) the application of boron, alone or in combination with chemical compounds (Glyphosate, KNO_3 and Sulfomethuron methyl), increased the content of boron in the leaves of sugarcane sugar; d) boron associated with maturation Sulfomethuron methyl and Glyphosate possible anticipation in cutting the raw material in relation to the isolated application of such chemicals; e) to boron application, alone or in combination with chemical compounds (Glyphosate, KNO_3 and Sulfomethuron methyl), did not influence the regrowth of stumps; f) the separate use of maturation had a significant and positive impact on the technological quality of raw material. The study of foliar application of silicon, with or without the chemical compounds with different mechanisms of action (Glyphosate, KNO_3 and Sulfomethuron methyl) at the beginning of the harvest 2007 and 2008, allowed the following conclusions: a) the silicon alone or in combination with agents chemical (Glyphosate, KNO_3 and Sulfomethuron methyl) induced significant changes in acid invertase activity and neutral, albeit as different intensities and the mechanism of action of chemical compounds, together with environmental conditions; b) the elements association with chemical Glyphosate, Sulfomethuron methyl and KNO_3 increased levels of neutral invertase in the juice of the upper third of the stems; c) the application of silicon, isolated or associated with chemicals (Glyphosate, KNO_3 and Sulfomethuron methyl), increased the content of the element in the leaves of cane sugar; d) silicon associated with the maturation Sulfomethuron methyl and Glyphosate possible anticipation in cutting the raw material in relation to the isolated application of such chemicals; e) the application of silicon, isolated or associated with chemicals (Glyphosate, KNO_3 and Sulfomethuron methyl), did not influence the regrowth of stumps; f) the separate use of maturation had a significant and positive impact on the technological quality of raw material. The study of foliar application of boron, with or without the chemical compounds with different mechanisms of action (Glyphosate, KNO_3 and Sulfomethuron methyl) at the end of 2006 and 2007 seasons, allowed the following conclusions: a) the micronutrient alone or in combination with agents chemical (Glyphosate,

KNO₃ and Sulfomethuron methyl) induced significant changes in acid invertase activity and neutral, albeit as different intensities and the mechanism of action of chemical compounds, together with environmental conditions; b) the application of boron, alone or in combination chemical compounds (Glyphosate, KNO₃ and Sulfomethuron methyl), increased the content of boron in the leaves of cane sugar; c) the association of boron with the chemical (Glyphosate, KNO₃ and Sulfomethuron methyl) did not affect the crop yield; d) boron associated with the maturation Sulfomethuron methyl and Glyphosate allowed to explore the genetic potential of variety as sucrose accumulation in the stems, resulting in improved technological quality of raw material, with gains in yield of sugar; e) to boron application, alone or in combination with chemical compounds (Glyphosate, KNO₃ and Sulfomethuron methyl) did not influence regrowth of stumps; f) the association of micronutrient to KNO₃ did not bring significant benefits to cane sugar; g) isolated from maturing employment showed significant and positive effect on technological quality of raw material. The study of foliar application of silicon, with or without the chemical compounds with different mechanisms of action (Glyphosate, KNO₃ and Sulfomethuron methyl) at the end of 2006 and 2007 seasons, allowed the following conclusions: a) the silicon alone or in combination with agents chemical (Glyphosate, KNO₃ and Sulfomethuron methyl) induced significant changes in acid invertase activity and neutral, albeit as different intensities and the mechanism of action of chemical compounds, together with environmental conditions; b) the application of silicon, alone or in combination chemical compounds (Glyphosate, KNO₃ and Sulfomethuron methyl), increased the content of the element in the leaves of cane sugar; c) the silicon associated with Glyphosate maturator Sulfomethuron methyl, KNO₃ and allowed to explore the genetic potential of variety as to sucrose accumulation in the stems, resulting in improving the technological quality of raw material, with gains in yield of sugar; d) application silicon, alone or in combination with chemical compounds (Glyphosate, KNO₃ and Sulfomethuron methyl), did not influence the regrowth of stumps; e) the separate use of maturation had a significant and positive impact on the technological quality of raw material.

Keywords: *Saccharum spp.*, maturation, boron, silicon, invertase, peroxidase, catalase, superoxide dismutase, biometrics, yield (stalks and sugar), technological quality and regrowth of stumps.

3. INTRODUÇÃO

O Brasil, anualmente, vem batendo recordes de produção em grãos, óleos vegetais, açúcar e álcool. Além da busca incansável do produtor por sucessivos ganhos de produtividade e expansão de área cultivada, é preciso enaltecer a cadeia de produtos de alta tecnologia disponível e serviços especializados que dão suporte ao agronegócio. O conjunto desses fatores permite ao país a posição de destaque na liderança mundial nos campos da agricultura alimentar e energética, sendo a cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.) uma das protagonistas deste quadro de sucesso, uma vez que o Brasil destaca-se como líder nas agroindústrias de açúcar e álcool mundiais.

A produtividade agrícola da cana-de-açúcar teve aumentos expressivos no país decorrente de novas variedades, manejo mais adequado do solo, uso de resíduos agroindustriais, aplicação racional de adubos e corretivos, expansão da safra, redução dos custos fixos, diversificação açúcar/álcool e a utilização de maturadores, permitindo o fornecimento à indústria sucroalcooleira matéria-prima de qualidade ao longo da safra.

Os maturadores, definidos como reguladores vegetais, podem alterar a atividade de enzimas (invertases) que catalisam o acúmulo de sacarose nos colmos, bem como promover alterações morfológicas e fisiológicas na planta, podendo implicar em modificações

qualitativas e quantitativas na produção. Podem atuar promovendo a inibição ou a paralisação temporária do crescimento da planta, possibilitando incrementos no teor de sacarose, precocidade de maturação e aumento na produtividade de açúcar. Sua aplicação no sistema de produção da cana-de-açúcar tem proporcionado maior flexibilidade no gerenciamento da colheita, altamente relevante para o planejamento da produtividade da cultura, além de propiciar a industrialização de matéria-prima de melhor qualidade.

Atualmente, por meio da recomendação de técnicos, muitos produtores têm realizado a aplicação de boro associado aos maturadores buscando fornecer à indústria matéria-prima de melhor qualidade com o intuito de incrementar os resultados agrícolas e industriais. Contudo, as informações quanto à eficácia da utilização do boro são todas em nível de produtor sem que haja comprovação científica. A razão para sua utilização é respaldada pelo efeito que este micronutriente pode exercer no processo fotossintético induzindo a translocação de fotoassimilados das folhas para os colmos e o acúmulo de sacarose. Uma vez que a cana-de-açúcar pode apresentar com frequência a denominada “fome oculta”, situação em que os sintomas de deficiência não são visíveis, essa insuficiência do micronutriente reduz a produtividade, assim, o emprego da aplicação foliar de boro pode implicar em resultados positivos.

Por outro lado, o silício é um elemento benéfico à cultura da cana-de-açúcar e o aumento de sua disponibilidade a essa espécie tem revelado, em alguns casos, incrementos significativos no crescimento e na produtividade, uma vez que o elemento pode atuar de forma indireta sobre alguns aspectos fotossintéticos e bioquímicos, dentre outros e, especialmente, quando estas plantas estão submetidas a algum tipo de estresse, seja ele de natureza biótica ou abiótica. Em função dessas constatações, tem sido sugerida a aplicação desse elemento via foliar com o intuito de propiciar matéria prima de melhor qualidade para a indústria sucroalcooleira, pois, há relatos de que esse elemento atuaria interferindo na ação das enzimas invertases, incrementando o teor de sacarose nos colmos.

Dada a importância da cultura da cana-de-açúcar para a economia agrícola do Brasil, a intensificação da agricultura e o incremento da produtividade, associado ao esgotamento dos micronutrientes do solo, decorrente da maior remoção e exportação, a incorporação inadequada de calcário ou a utilização de doses elevadas acelerando o aparecimento de deficiências induzidas e, o aumento da utilização de fertilizantes NPK de alta

concentração contendo baixos teores de micronutrientes, o presente trabalho teve por objetivo estudar a eficácia da aplicação foliar de boro e silício associados ou não à maturadores, com diferentes mecanismos de ação, e as alterações fisiológicas e bioquímicas na cana-de-açúcar, suas implicações na produtividade, qualidade tecnológica e rebrota da soqueira, tanto em aplicação de início como de final de safra.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Importância e perspectivas para a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) (AGRIANUAL, 2009, AGRIANUAL, 2008; ORTOLAN, 2005; CARVALHO, 2004)

A perspectiva atual do setor sucroalcooleiro referente ao cenário nacional e internacional da cultura da cana-de-açúcar é promissor e otimista, haja visto que o Brasil é o maior produtor e exportador mundial de açúcar e, provavelmente, o país irá ampliar sua participação no mercado internacional devido à reforma do regime do açúcar na União Européia. Contudo, a visibilidade de crescimento do setor é ofuscada pela crise financeira americana.

O álcool, no entanto, será o principal responsável pelo crescimento do setor sucroalcooleiro. Fatores tais como a proximidade do esgotamento das fontes de energia fóssil mundial, as mudanças climáticas, os constantes conflitos envolvendo países do Oriente Médio, onde se localizam quase 80 % das reservas de petróleo, têm ocasionado um quadro de instabilidade no suprimento do combustível mineral e preços elevados. Dessa forma, é grande o esforço para tornar viáveis as novas fontes de energia, de modo que a economia mundial tem

destacado a produção e o uso de etanol, biodiesel, biogás, carvão vegetal e a energia obtida de resíduos da agroindústria.

Na base do fomento à agroenergia está a preocupação ambiental, o crescente preço do petróleo e as estimativas de escassez deste combustível fóssil, que estimula o plantio de culturas energéticas e o etanol se sobressai dentre estas, particularmente o obtido da cana-de-açúcar.

As estimativas para a safra 2008/09 é o cultivo de 8,9 milhões de hectares, dos quais 7 milhões se destinam à produção de açúcar e álcool, sendo 85 % da área total localizada na região Centro-Sul, com destaque para os estados de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, e os 15 % restantes na região Norte e Nordeste. Há previsão de moagem de 558,6 milhões de toneladas de cana pelas usinas, 11 % superior à safra anterior, assim como é estimada a produção de 151,6 milhões de toneladas de cana para outros fins, como mudas e fabricação de cachaça e rapadura.

Assim como na safra 2007/08, as baixas cotações internacionais do açúcar contribuem para que a moagem nacional seja mais alcooleira do que açucareira na safra 2008/2009, de modo que do total processado pela indústria, 56,9 % devem se transformar em álcool e 43,1 % em açúcar, correspondendo a um aumento próximo de 20 % na produção de etanol e modesta elevação, em torno de 4,8 % na produção de açúcar em relação à safra anterior. Outros fatores têm contribuído para a maior rentabilidade oferecida pelo álcool, tais como a impulsão da demanda doméstica decorrente do aumento das vendas de veículos *flex fuel* (bicomcombustível), como consequência do grande diferencial de preços entre o álcool e a gasolina, a tendência de utilização de maiores quantidades de álcool misturado à gasolina e o aumento da demanda pelo álcool brasileiro no cenário internacional.

O etanol brasileiro tem sido valorizado também pelo fator ambiental, tendo em vista os efeitos negativos do aquecimento global, causado pela emissão de gases, principalmente o dióxido de carbono, resultantes da queima de carvão e petróleo. No sentido da preservação ambiental, os países industrializados iniciaram, em 1997, as negociações para a formatação de um tratado em torno da necessidade de redução nos níveis de poluição, o Protocolo de Kyoto, que efetivamente está em vigor desde 2005. Este protocolo potencializou o produto brasileiro, uma vez que os países comprometidos com o tratado, como o Japão e a União Européia, buscam alternativas energéticas, como a adição de álcool à gasolina ou a

ampliação do percentual de mistura. O etanol derivado da cana-de-açúcar é mais viável e com custo de produção inferior ao produzido nos Estados Unidos, obtido a partir da cultura do milho, que também constitui matéria-prima para a indústria alimentícia, comprometendo a ampliação da produção na mesma medida que a demanda, no entanto a principal barreira para o produto brasileiro são as tarifas de importação.

O Brasil avança de forma importante também na produção de biodiesel, alternativa ao diesel de origem fóssil, já produzido e utilizado em larga escala em países da Europa e Estados Unidos. O diferencial do biodiesel brasileiro é a utilização do álcool de cana no processo de reação, em substituição ao metanol, um derivado do petróleo e altamente poluente, ou seja, a transesterificação de óleos vegetais (soja, girassol, mamona, palma, etc) e sua mistura ao diesel mineral reduz a emissão de poluentes, sem prejuízo ao rendimento do veículo.

A produção superior a 830 milhões de toneladas destinada às usinas e destilarias para a safra 2018/19 é projetada para o futuro e, para tanto, a área necessária será de aproximadamente 9,5 milhões de hectares, consolidando os estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Goiás como novas fronteiras agrícolas para a produção de cana. Tais projeções tem como base os fatores mencionados anteriormente, tais como a proximidade do esgotamento das fontes de energia fóssil mundial, as mudanças climáticas, os constantes conflitos envolvendo países do Oriente Médio, o crescimento da frota *flex-fuel* nacional, aliado à competitividade econômica do etanol em relação à gasolina.

As perspectivas otimistas para o setor sucroalcooleiro no contexto nacional e internacional requerem, no entanto, esforços concentrados do setor para atender a demanda crescente e garantir o desenvolvimento da atividade nos princípios da sustentabilidade, de modo a fortalecer a economia local, regional e, principalmente, a imagem do Brasil como maior e importante produtor de biocombustível, oferecendo ao mundo uma alternativa eficiente para a substituição do petróleo.

4.2 Bioquímica I: enzimas relacionadas ao controle do acúmulo de sacarose nos colmos da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta eficiente quanto à utilização da luz solar para a realização do processo de fotossíntese, sendo tal processo pouco afetado por flutuações rápidas de temperatura, dentro dos limites de 8 a 34°C. Todavia, temperaturas de 17-18°C parecem ser particularmente favoráveis para a partição de fotossintetizados, isto é, reserva de açúcares (glicose e frutose) e acúmulo de elevados níveis de sacarose. Entretanto, baixas temperaturas (abaixo de 17 °C) levam ao rápido declínio da eficiência fotossintética, sendo que altos níveis de açúcar não são retidos, afetando o transporte/armazenamento de açúcares e o desenvolvimento dos colmos, ocasionando o acúmulo de sacarose nas folhas. Há efeito interativo entre luz solar, temperatura, ocorrência de chuvas e variedades de cana-de-açúcar em resposta ao processo de maturação (GLASZIOU & BULL, 1965; GAYLER & GLASZIOU, 1972; ALEXANDER, 1973; LEGENDRE, 1975).

A síntese de sacarose e amido que ocorre, respectivamente, no citosol e no cloroplasto, são processos competitivos que se estabelecem nas folhas de cana-de-açúcar. As vias metabólicas de síntese de sacarose e de amido possuem diversas fases em comum, envolvendo determinadas enzimas, porém essas enzimas possuem isoenzimas que têm diferentes propriedades e são únicas para um apropriado compartimento celular. O excesso de triose fosfato pode ser utilizado tanto para a síntese de sacarose no citosol, como para a síntese de amido no cloroplasto, sendo que as condições que promovem um deles inibem o outro. Os componentes chaves do sistema, que regulam sua partição, envolvem as concentrações relativas de ortofosfato (Pi) e de triose fosfato no citosol e no cloroplasto, além da concentração de frutose 2,6-bifosfato no citosol. A comunicação entre os compartimentos é feita através do transportador fosfato/triose fosfato, que catalisa o movimento em direções opostas. Uma baixa concentração de ortofosfato no citosol limita a exportação de triose fosfato através do transportador, sendo utilizada para a síntese de amido. Inversamente, uma abundância de ortofosfato no citosol inibe a síntese de amido no interior do cloroplasto e promove a exportação de triose fosfato para o interior do citosol, onde ela é convertida em sacarose (MOORE, 1995; LINGLE, 1999; CASTRO, 2002).

A síntese citosólica de sacarose é fortemente regulada pela frutose 2,6-bifosfato. Esse composto é encontrado em concentrações mínimas no citosol e exerce um efeito regulador na interconversão citosólica de frutose 1,6-bifosfato em frutose 6-fosfato. Aumentos em 2,6-bifosfato no citosol estão associados com taxas de decréscimo da síntese de

sacarose. Por outro lado, uma baixa razão triose fosfato/ortofosfato no citosol promove a formação de frutose 2,6-bifosfato, que por sua vez inibe a hidrólise de frutose 1,6-bifosfato citosólica e aumenta lentamente a taxa de síntese de sacarose. Uma alta razão triose fosfato/ortofosfato no citosol, possui efeito oposto (MOORE, 1995; CASTRO, 2002).

A sacarose, produto final da fotossíntese, antes de depositar-se no vacúolo, caminha através do floema e em seu final sofre transformações nas células de armazenamento. A inversão da sacarose, interconversão e fosforilação de glicose e frutose, síntese de sacarose fosfato e acúmulo ativo através do tonoplasto, constituem o processo de armazenamento. Este processo caracteriza-se pelo movimento da sacarose contra um gradiente de concentração. Através da inversão a frutose e glicose, a sacarose pode deixar o vacúolo novamente (GLASZIOU & BULL, 1965; GAYLER & GLASZIOU, 1972; MOORE, 1995; CASTRO, 2002).

No parênquima, na célula de armazenamento, a sacarose é invertida através da mediação de uma invertase ácida (SAI, β -fructofuranosidade, EC 3.2.1.26) situada na região externa da parede celular. O movimento de frutose e glicose para dentro da área metabólica, bem como para o meio externo, é passivo e com igual facilidade. Por não haver impedimento contra o processo de difusão dos açúcares (sacarose, glicose e frutose), mesmo dentro do tecido de armazenamento os açúcares poderão retornar para o meio externo (MOORE, 1995; LINGLE, 1999; CASTRO, 2002).

A frutose e a glicose sofrem rápida interconversão e fosforilação, no compartimento metabólico. Devido a presença de alguns grupos de enzimas, são garantidas quantidades adequadas de UDPG (uridina difosfato glicose), frutose e frutose 6-P, coenzimas essenciais para a síntese de sacarose, mesmo quando um dos açúcares é fornecido no meio externo. Há em abundância entre as enzimas essenciais: hexoquinases (fosforilação de glicose e frutose), fosfohexose isomerase (interconversão de glicose 6-P e frutose 6-P), sacarose fosfato sintetase (UDP-glicose: D-frutose-6-P-2-D-glicotransferase, EC 2.4.1.14), sacarose sintetase (UDP-glicose: D-frutose-2-D-glicosiltransferase, EC 2.4.1.13), bem como fosfatases não específicas e uma fosfatase específica para a sacarose fosfato. Atuando conjuntamente, estas enzimas catalisam a reconstituição da sacarose ou da sacarose-P, sendo a última hidrolisada pela sacarose-P fosfatase (GLASZIOU & BULL, 1965; GAYLER & GLASZIOU, 1972; ALEXANDER, 1973; MOORE, 1995; LINGLE, 1999).

Através da quebra da ligação fosfato da sacarose-P e a conseqüente liberação de energia, ocorre a etapa ativa do acúmulo, que envolve o transporte ativo da sacarose-P para o interior da célula, o que não ocorre com a sacarose devido a sua concentração no interior da célula ser maior em relação ao meio externo, nesse caso transporte passivo, quando no interior do vacúolo, efetivamente a sacarose é armazenada (GLASZIOU & BULL, 1965; GAYLER & GLASZIOU, 1972; ALEXANDER, 1973, MOORE, 1995; LINGLE, 1999).

Independentemente da maturidade dos tecidos, o mecanismo de acúmulo ativo de sacarose parece ser o mesmo; entretanto, há diferença entre estes tecidos (maduros e imaturos) com relação ao acúmulo de sacarose devido à concentração de invertase e à necessidade de crescimento. Os tecidos de armazenamento imaturos caracterizam-se pela expansão celular, nestes a sacarose acumulada é rapidamente hidrolisada pela invertase ácida vacuolar e as hexoses produzidas movem-se livremente até o citoplasma para serem utilizadas no processo de crescimento. Como parte do mecanismo cíclico, as hexoses podem, ainda, ser novamente acumuladas. Nos tecidos maduros do colmo, onde os processos de crescimento estão praticamente acabados, ocorre um declínio da concentração da invertase ácida vacuolar e então a invertase neutra torna-se predominante (enzima aparentemente situada no citoplasma). Esta enzima conjuntamente com a invertase ácida de parede governa o acúmulo ativo de sacarose no vacúolo. Posteriormente, em tecidos com maior maturidade, que apresentam teores de sacarose em torno de 15 a 20%, há armazenamento de sacarose nos espaços intercelulares. A sacarose pode assumir um papel importante no movimento de açúcar, dependendo da condição fisiológica das plantas, condicionada pelo ambiente; podendo ocorrer por difusão passiva entre o espaço intercelular e o vacúolo e, por translocação para áreas de metabolismo intenso de açúcares (MOORE, 1995; LINGLE, 1999).

A síntese de sacarose é de fundamental importância para o enriquecimento dos entrenós do colmo, enquanto a síntese de amido revela imaturidade da planta de cana-de-açúcar. Plantas jovens e a região apical do colmo são ricas em amido, bem como plantas que perderam a dominância apical por efeito da aplicação de produtos químicos, por manejo inadequado ou por fatores ambientais desfavoráveis (MOORE, 1995; CASTRO, 2002).

Na fase de alongamento, alguns dos assimilados são empregados na construção da estrutura dos internódios, desse modo a taxa de perda de assimilados é maior que sua utilização, porque glicose, frutose e sacarose começam a ser acumuladas durante esta fase. A invertase ácida e a sacarose sintetase alcançam o máximo de sua atividade neste processo, apresentando correlação com o mesmo. O conteúdo de água apresenta correlação negativa com a atividade da sacarose fosfato sintetase e, esta última guarda correlação positiva com o conteúdo de sacarose (GLASZIOU & BULL, 1965; GAYLER & GLASZIOU, 1972; ALEXANDER, 1973, MOORE, 1995; LINGLE, 1999).

No vegetal as invertases têm função fundamental na partição dos fotossintetizados entre armazenamento e crescimento. A atividade da invertase ácida solúvel (SAI – EC 3.2.1.26) pode ser alta ou baixa, respectivamente, em condições favoráveis ao crescimento ou em condições desfavoráveis, tais como estresse hídrico, fotoperíodo curto, temperaturas baixas e aplicação de maturadores. A somatória das invertases do espaço externo (parede celular) e do vacúolo (encontrada em quantidade superior e praticamente em tecidos imaturos) constitui a SAI. O balanço entre as taxas de síntese e de degradação reflete a quantidade de SAI no vacúolo. O processo de síntese da SAI é influenciado por reguladores vegetais (auxinas) e condicionada a um sistema dependente da concentração de frutose e glicose no citoplasma, ou seja, o processo é inibido caso haja alta concentração de hexoses no citoplasma e vice-versa (MACHADO, 1987).

A invertase ácida isoforma de parede celular comparativamente à isoforma solúvel (SAI) ainda é pouco caracterizada na cana-de-açúcar e em outras espécies têm sido objeto de restritas pesquisas. A distinção da isoforma de parede da isoforma solúvel é complicada, devido ao fato de possuírem propriedades muito similares, associada a possibilidade de haverem diferentes isoformas da própria invertase ácida de parede (ALBERTSON et al., 2001).

VIEIRA et al. (1996a, 1996b) enfatizaram a função da SAI, da invertase neutra (NI – EC 3.2.1.26) e da invertase ácida ligada à parede celular na mobilização, utilização e acúmulo de sacarose em diferentes cultivares de cana-de-açúcar. Para LINGLE (1999) a SAI e a sacarose sintetase (SuSy) apresentaram correlação positiva com a taxa de alongamento enquanto que, para esta mesma fase, a atividade da sacarose fosfato sintetase (SPS ou UDP-glicose: D-frutose-6-P-2-D-glicosiltransferase, EC 2.4.1.14) revelou correlação

inversa. TERAUCHI et al. (2000) relataram que a atividade da SAI diminuiu sobre condições frias, provavelmente a maior atividade da SPS e a menor atividade da SAI resultou em aumento na concentração de sacarose no inverno, sobre baixas temperaturas, sugerindo que a atividade da SPS é um dos fatores envolvidos no controle do acúmulo de sacarose em cana-de-açúcar.

LINGLE (1997) sugeriu que a atividade da SAI é responsável pelo controle do crescimento em plantas de cana-de-açúcar. O autor observou que a concentração total de açúcar e sacarose aumentou enquanto que a atividade da SAI diminuiu durante a maturação dos internódios, concluindo que tal enzima suprime o acúmulo de açúcar.

A SAI vacuolar aparenta ser inativada com a maturação e com a queda na taxa de crescimento, pois sua quantidade diminui gradativamente com a idade do internódio. A atividade da NI (invertase neutra) e o teor de sacarose, em internódios maduros, guardam estreita relação, com correlação significativa entre o teor de sacarose e o nível de atividade da NI (SUZUKI, 1983; ROSE & BOTHAS, 2000).

ZHU et al. (1997) demonstraram que a SAI reduz a sacarose, mas não totalmente seu acúmulo, quando se encontra em alta atividade, estando este resultado de acordo com VIEIRA et al. (1996a). A elevada taxa de acúmulo de sacarose em genótipos de maior rendimento foi atribuída não somente à genética mas também à diferença de atividade entre a SAI e a SPS (sacarose fosfato sintetase), devido a baixa atividade da enzima SAI por si só ser suficiente para explicar o fato. Como a rota do transporte de sacarose para o acúmulo envolve hidrólise e ressíntese desta molécula, este resultado é esperado.

Células em zona de expansão de crescimento nos internódios tiveram maior atividade das invertases ácida e neutra que células já expandidas e em zonas intermediárias, indicando que essas enzimas podem estar associadas com o processo de expansão celular do caule (SHETIYA et al., 1991). No crescimento rápido dos tecidos, carboidratos são utilizados para suprir de energia o processo; o acúmulo uniforme de açúcar durante este processo, demonstra que mais carboidratos são importados no alongamento dos internódios que podem ser utilizados.

BOTHAS & BLACK (2000) mediram as taxas de acúmulo de sacarose, a atividade da SPS e da SuSy (sacarose sintetase) em tecidos dos entrenós da cana, constatando que a taxa de acúmulo de sacarose aumenta entre os entrenós 3 a 11, e que em

entrenós mais velhos a atividade da SPS era no mínimo três vezes maior que a atividade da SuSy. Encontrou-se correlação positiva entre a atividade da SPS e o teor de sacarose; por outro lado, não se observou para a SuSy essa mesma correlação significativa. A glicose radioativa fornecida aos entrenós com alta taxa de acúmulo de sacarose foi igualmente distribuída nos monômeros de hexose da sacarose, indicando maior atividade de síntese no colmo de cana-de-açúcar para a SPS. Observou-se ainda, que podem existir diferentes formas cinéticas da SPS nos tecidos dos entrenós em diferentes estágios de maturação. TERAUCHI et al. (2000) sugeriu que a atividade da sacarose fosfato sintetase é um dos fatores envolvidos no controle do acúmulo de sacarose em cana-de-açúcar.

Para LINGLE (1999), para cada fase (alongamento, acúmulo de matéria seca, etc) há um afluxo de sacarose que é particionada entre utilização e armazenamento. Observou-se correlação entre a fase de alongamento e a atividade da invertase ácida e, para esta mesma fase, correlação inversa com a atividade da sacarose fosfato sintetase. Com relação à fase de acúmulo de matéria seca verificou-se baixa atividade da invertase ácida e sacarose sintetase, em contra partida maior atividade da invertase neutra e sacarose fosfato sintetase.

LINGLE et al. (1991) relataram aumento na concentração de açúcar invertido (glicose e frutose) em comparação à concentração de sacarose durante o alongamento dos internódios sendo a concentração de glicose maior que a concentração de frutose. Após o processo de alongamento, a taxa de acúmulo de sacarose aumentou, enquanto a concentração de açúcar invertido, após ter atingido seu máximo, iniciou o declínio, sendo que a concentração de frutose declinou mais rapidamente que a glicose. A atividade da sacarose sintetase e das invertases ácidas foram claramente associadas com o processo de alongamento, sendo que a cana-de-açúcar particionou os fotoassimilados do colmo entre crescimento e armazenamento, enquanto a atividade da invertase neutra foi maior em internódios maduros. ROSE & BOTHA (2000) extraíram açúcares e NI (invertase neutra) de tecidos de entrenós do colmo em diferentes estágios de desenvolvimento (entrenós 3, 6 e 9) e encontraram correlação significativa entre o teor de sacarose e o nível de NI.

LINGLE & IRVINE (1994) concluíram que o processo de amadurecimento foi acompanhado de uma lenta taxa de alongamento. Este processo evidenciou um aumento na concentração de açúcar total nos internódios do terço superior do

colmo e um incremento no percentual de sacarose de açúcar total no alongamento dos internódios.

4.3 Bioquímica II: enzimas relacionadas ao estresse oxidativo e alterações na fisiologia e produtividade vegetal

O metabolismo aeróbico é um processo oxidativo onde os compostos orgânicos são oxidados e metabólitos intermediários (por exemplo, a nicotinamida-adenina dinucleotídeo (NAD^+) e flavina-adenina dinucleotídeo (FAD)) atuam como receptores de elétrons e estes, por sua vez, são reoxidados nas mitocôndrias para a produção de adenosina trifosfatada (ATP). Na cadeia transportadora de elétrons, a energia é liberada e controlada pela transferência de elétrons entre os diferentes carreadores até o receptor final, o oxigênio (O_2) (HALLIWELL & GUTTERIDGE, 1989).

A limitação química da molécula de O_2 faz com que a adição de elétrons ocorra por meio de reações sequenciais de redução univalente, o que leva a formação de intermediários parcialmente reduzidos conhecidos como Espécies Reativas de Oxigênio (EROs), os quais também são designados como radicais livres. Quimicamente, um radical livre é definido como um átomo, íon ou molécula química capaz de existência independente e que possui um ou mais elétrons livres não pareados, ou seja, trata-se de uma molécula a qual é considerada “ativa”, uma vez que não necessita da entrada de energia para reagir com outras moléculas como proteínas, enzimas, carboidratos, fosfolipídios, lipídios, ácido desoxirribonucléico, ácidos ribonucléicos e ácidos orgânicos (HALLIWELL & GUTTERIDGE, 1989; SCANDALIOS, 2002).

As EROs incluem o radical superóxido (O_2^-), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), radical hidroxila ($\text{OH}^\cdot$) e oxigênio “singlet” (O_2^1) (ALSCHER et al., 2002).

O estresse ambiental representa o fator limitante mais importante para a produtividade vegetal e rendimento de culturas. Diversas situações ambientais são capazes de produzir estresse oxidativo, sendo classificados em abióticos (alta irradiância, seca, hipoxia, deficiência mineral, baixa e altas temperaturas, etc), bióticos (infestação bacteriana, fúngica ou viral) e xenobióticos (herbicidas, fungicidas, metais pesados, etc) (CARRILO & VALLE,

2005). Assim, apesar dos organismos aeróbicos disporem de vantagens energéticas significativas utilizando o oxigênio molecular como um oxidante terminal na respiração, sua presença no ambiente celular constitui uma ameaça oxidativa constante às suas próprias estruturas e processos metabólicos, devido ao seu potencial como redutor parcial para formar as EROs (VAN BREUSEGEM et al., 2001; GRATÃO et al., 2005), as quais podem ser altamente destrutivas para células e tecidos caso a produção não seja estritamente controlada, ou seja, o excesso de EROS pode afetar a síntese de proteínas, induzir mutações no DNA, redução nas taxas de fotossíntese, podendo também, destruir a integridade da membrana celular (SYMONS, 1991; ALSCHER et al., 2002).

As EROs são, sobretudo, subprodutos do metabolismo celular regular, mas podem ser gerados com a destruição do sistema de transporte de elétrons durante condições de estresse. O principal ponto de produção de EROs na célula durante o estresse são as organelas com alta atividade de oxigenação metabólica ou com fluxo de elétrons sustentado: cloroplastos e mitocôndrias. Nos cloroplastos, a formação de EROs está relacionada com eventos da fotossíntese, enquanto as mitocôndrias somente recentemente têm sido consideradas fontes de EROs sob condições de estresses específicas. Também o fenômeno de fotorrespiração nos peroxissomos corresponde a outra forma de produção de EROs (VAN BREUSEGEM et al., 2001; MITTLER et al., 2004). No entanto, nenhum destes sítios (mitocôndrias e peroxissomos) produz quantidades significativas de EROs quando comparados com os cloroplastos (MCKERSIE, 1996).

A principal via de metabolismo do oxigênio no organismo vegetal envolve a sua completa redução à água, incorporando quatro elétrons ao final da cadeia respiratória e, caso ocorra redução do oxigênio com um número menor de elétrons ao longo da cadeia respiratória, haverá a produção de radicais livres. Por sua configuração eletrônica, o oxigênio tem forte tendência de receber um elétron de cada vez. (HALLIWELL & GUTTERIDGE, 1989).

A conversão univalente do oxigênio à água processa-se da seguinte maneira: - a) a adição de um elétron a uma molécula de oxigênio no estado fundamental gera a formação do radical superóxido ($O_2^{\bullet-}$); - b) o superóxido ao receber mais um elétron e dois íons H^+ forma peróxido de hidrogênio (H_2O_2) através do processo chamado de dismutação. A reação é catalisada pela enzima superóxido dismutase (SOD, EC 1.15.1.1), a qual acelera a

reação a 10^{10} vezes a frequência para dismutação espontânea num pH fisiológico; - c) quando o H_2O_2 recebe mais um elétron e um íon H^+ , é formado o radical hidroxil ($\text{OH}^\bullet$), que é o mais reativo dos intermediários, capaz de reagir e alterar qualquer estrutura celular que esteja próxima e, assim, influenciar proteínas, enzimas, carboidratos, membranas ou ácidos nucleicos. O radical hidroxil pode ser formado quando o H_2O_2 reage com íons Fe ou Cu, sendo a reação conhecida como Reação de Fenton; - d) os íons de metais de transição podem também catalisar a reação entre H_2O_2 e superóxido, conduzindo à produção de radical hidroxil, a chamada Reação de Haber-Weiss; - e) o radical superóxido pode, também, reagir diretamente com o óxido nítrico (NO), um radical livre centrado no nitrogênio, gerando peroxinitrito, o qual pode ocasionar a formação de um oxidante com características do radical hidroxil (HALLIWELL & GUTTERIDGE, 1989; REZENDE et al., 2003; APEL & HIRT, 2004).

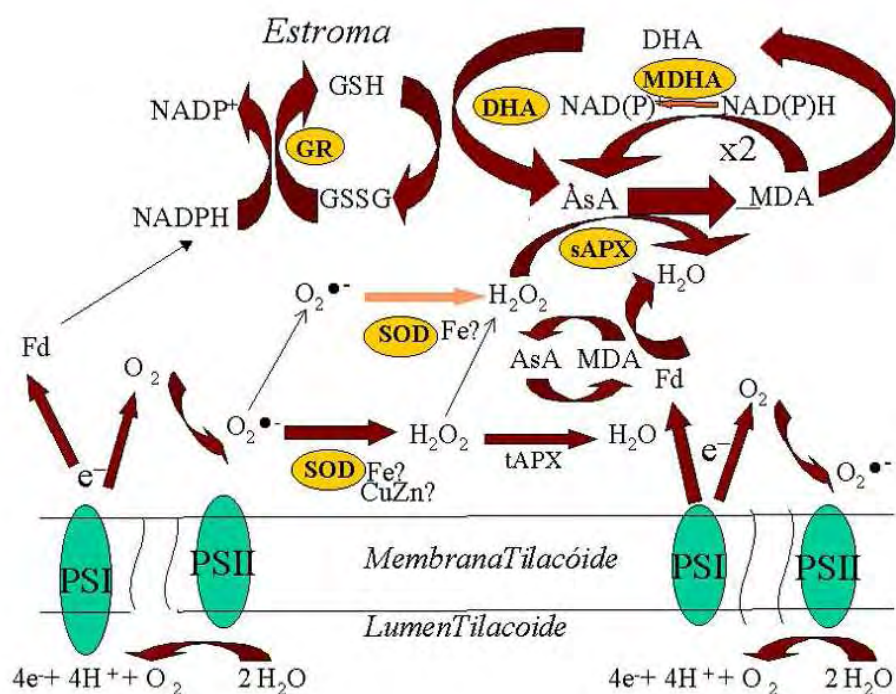
O oxigênio simples ou singlete ($^1\text{O}_2$), semelhante ao radical hidroxil, tem maior meia vida e são altamente destrutivos, reagindo com a maioria das moléculas biológicas, porém a maioria dos danos são próximos aos sítios onde são produzidos. São predominantemente gerados nos cloroplastos, através da transferência de energia de uma clorofila foto-excitada para o elétron do oxigênio molecular. O $^1\text{O}_2$ reage facilmente com reações duplas e têm alta afinidade com “dienos” na membrana e a.a. específicos como histidina, metionina, triptofano e cisteína (HALLIWELL & GUTTERIDGE, 1989; SCANDALIOS, 2002; REZENDE et al., 2003).

Diversos estudos têm indicado que as EROs também funcionam como moléculas sinalizadoras em plantas e que possuem um papel importante na ativação de fatores de transcrição, ativando ou reprimindo a expressão de genes relacionados com a resposta de defesa a patógenos, e durante o desenvolvimento da planta (SCANDALIOS, 2002; APEL & HIRT, 2004). Outros experimentos têm evidenciado que o estresse oxidativo é um denominador comum, fundamental em muitas doenças e estresses ambientais, os quais podem levar à morte celular em todos os organismos aeróbicos, demonstrando que os estresses abióticos e bióticos causam seus efeitos deletérios direta ou indiretamente, via geração das EROs (SCANDALIOS, 2005).

Os vegetais desenvolveram mecanismos que incluem um complexo sistema de defesa antioxidante formado por compostos não enzimáticos e enzimáticos de proteção contra as EROs (MALLICK & MONH, 2000). Estes autores observaram que alguns

aminoácidos, como a histidina, pode-se ligar a EROs como $O_2^{\bullet-}$, evitando desta forma danos à planta. Dentro da célula, o sistema antioxidante de defesa, inclui enzimas como a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POX), que são responsáveis pela proteção e preservação da integridade da célula (VAN BREUSEGEM et al., 2001). As EROs, como os $O_2^{\bullet-}$, produzidos pela reação do O_2 molecular do Fotossistema I (PSI), são rapidamente convertidos a H_2O_2 pela SOD que está associada ao tilacóide, através de reação Melner (ALLEN, 1995). Moléculas de $O_2^{\bullet-}$ e H_2O_2 que escapam da destruição no tilacóide são destruídas pela ascorbato peroxidase (APX) no cloroplasto associada à membrana do tilacóide em um ciclo conhecido como Halliwell-Asada (FADZILLAH et al., 1996). Neste ciclo, os radicais monodesidroascorbato, produzidos pela APX, são convertidos a ascorbato (AsA) via ferredoxina (Fd) ou pela enzima monodesidroascorbato redutase (MDHA) (FOYER & NOCTOR, 2003). A APX também pode formar neste ciclo, o ácido ascórbico ou o ácido desidroascorbato, que pode ser convertido a ascorbato através da enzima desidroascorbato redutase (DHAR). A DHAR por sua vez, utiliza a glutathione reduzida (GSH) como doador de elétrons (ALLEN, 1995). Segundo estes autores, a subsequente regeneração da GSH requer a participação de glutathione redutase (GR) e NADPH. Entretanto, é importante ressaltar que no sistema de detoxificação de EROs o H_2O_2 formado na glicolato peroxidase é degradado pela CAT, principalmente, nos peroxissomos (AZEVEDO et al., 1998). Por fim, o sistema de defesa antioxidante discutido é elucidado no esquema abaixo (Esquema 1).

A SOD (EC 1.15.11) pertence a um grupo de metaloenzimas que catalisam a dismutação de $O_2^{\bullet-}$ a H_2O_2 e O_2 . O $O_2^{\bullet-}$ é formado em diferentes locais da célula, onde o O_2 e a cadeia transportadora de elétrons estejam presentes, como mitocôndrias, glioxissomos e cloroplastos (VRANOVÁ et al., 2002). Estes autores, avaliando o efeito do $O_2^{\bullet-}$ nas células verificaram que estas EROs podem competir com o sítio ativo de diferentes enzimas. Assim, não é surpresa encontrar as SOD em diferentes localizações subcelulares como um mecanismo de defesa (ALSCHER et al., 2002). O número e tipo destas isoenzimas variam de planta para planta (SCANDALIOS, 1993).



ESQUEMA 1. Ilustração do sistema de defesa antioxidante extraída de SCANDALIOS (2005) e AZEVEDO et al. (1998).

A SOD (EC 1.15.11) pertence a um grupo de metaloenzimas que catalisam a dismutação de $\text{O}_2^{\bullet-}$ a H_2O_2 e O_2 . O $\text{O}_2^{\bullet-}$ é formado em diferentes locais da célula, onde o O_2 e a cadeia transportadora de elétrons estejam presentes, como mitocôndrias, glioxissomos e cloroplastos (VRANOVA et al., 2002). Estes autores, avaliando o efeito do $\text{O}_2^{\bullet-}$ nas células verificaram que estas EROs podem competir com o sítio ativo de diferentes enzimas. Assim, não é surpresa encontrar as SOD em diferentes localizações subcelulares como um mecanismo de defesa (ALSCHER et al., 2002). O número e tipo destas isoenzimas variam de planta para planta (SCANDALIOS, 1993).

Existem três isoformas destas enzimas as quais são classificadas a partir do íon metálico presente em seu sítio ativo: Cobre-Zinco (Cu/Zn-SOD), Manganês (MnSOD) e Ferro (FeSOD) (SHERME & DIZENGREMEL, 1998). A FeSOD, é encontrada no cloroplasto e é uma enzima dimérica formada por 2 subunidades idênticas. A MnSOD é encontrada na matriz mitocondrial e é uma enzima que possui estrutura tetramérica (PAN & YAU, 1991). Estudos realizados à filogenia da SOD indicaram que a MnSOD e a FeSOD são

mais antigas e que estas isoenzimas apresentam similaridade em suas propriedades físico-químicas (BOWLER et al., 1994). A Cu/Zn-SOD é a mais abundante entre todas as metaloenzimas e são observadas no citosol e no estroma dos cloroplastos ou ligadas à membrana dos tilacóides de células. Entretanto, a Cu/Zn-SOD não apresenta similaridade com as outras isoformas de SOD. Assim, possivelmente, esta isoenzima surgiu independentemente (ALSCHER et al., 2002).

Em plantas expostas a condições ambientais adversas foi evidenciada uma alta expressão da SOD como forma de proteção a um possível estresse (GUPTA et al., 1993). De acordo com MENEZES-BENAVENTE et al. (2004), diferentes pesquisas têm sido realizadas envolvendo esta enzima na tolerância a estes diferentes estresses. Em condições de seca foi observado o aumento da atividade da Cu/Zn-SOD e FeSOD em *Lupinus angustifolius* (YU & RENGEL, 1999) e em alta salinidade aumentou a atividade da Cu/Zn-SOD em *Morus alba* (SUDHAKAR et al., 2001). O estresse pelo frio, provocou em pepino, a redução da concentração de proteínas e redução da atividade das diferentes isoenzimas da SOD (FENG et al., 2003). Em arroz, o efeito do metal pesado cádmio, levou ao aumento da atividade da MnSOD (SHAH et al., 2001). Em milho, foi verificado que o efeito da toxidez do níquel inibiu a atividade da SOD, durante a primeira hora de estresse (BACCOUCH et al., 2001), o contrário foi verificado em *Betula pentula*, onde foi aumentado a capacidade da atividade da SOD tanto nas raízes, como em folhas na presença deste metal (KORICHEVA et al., 1997), em *Cajanus cajan* foi constatado o aumento da atividade da SOD quando esta planta sofreu a exposição a este metal, indicando, desta forma, que a SOD é um importante intermediário no processo de destoxificação do níquel (RAO & SRESTY, 2000).

As peroxidases de plantas são classificadas em três classes: Classe I, em que se encontra o citocromo c e a ascorbato peroxidase; a Classe II inclui a peroxidase dependente de manganês e lignase, que são enzimas extracelulares fúngicas e a classe III que inclui as enzimas genericamente denominadas peroxidases (POX, EC 1.11.17), que são secretadas para o exterior da célula ou transportadas para dentro de vacúolos (GASPAR et al., 1985; SIEGEL, 1993).

As peroxidases (POX) são isoenzimas associadas a mudanças nos processos fisiológicos de plantas submetidas a estresses. Este grupo de enzimas é capaz de catalisar a transferência do hidrogênio de um doador (compostos fenólicos) para o H_2O_2 ,

constituindo, em plantas, proteção antioxidativa e capacidade de defesa, além de atuar em vários processos metabólicos como a biossíntese de etileno, descarboxilação do ácido indol acético, lignificação da parede celular e respostas de estresses em geral (HIRAGA et al., 2001).

Na formação da lignina, as POXs fornecem H_2O_2 necessário para oxidação do ácido cinâmico e convertem o ácido ferúlico em diferúlico, o qual age na ponte de hemicelulose unindo o ácido cinâmico às proteínas e aos carboidratos da parede celular, favorecendo a consolidação (GASPAR et al., 1982). Segundo MUSACCHI (1994), os fenóis exercem, também, ação de regularização da atividade auxínica. Os compostos fenólicos são suficientes para regular a síntese da AIA-oxidase. Mais precisamente, o ácido cumárico e o ácido hidroxibenzóico (monofenóis) inibem o desenvolvimento da planta, porque ativam a oxidação das auxinas, enquanto os polifenóis, como o ácido caféico, inibem a oxidação das auxinas, promovendo o crescimento das plantas.

Tecidos vegetais submetidos a estresse hídrico, salino e de temperatura, apresentaram variações na atividade da POX (SUBASHINI et al., 1990; MITTAL & DUBEY, 1991; SIEGEL, 1993; LIMA et al., 1998; LIMA et al., 1999). A variação na atividade da POX, em nível de membrana, pode ser uma adaptação útil do vegetal, pois ocorre aumento da oxidação dos lipídeos da membrana sob condições de diversos estresses, assim o aumento da atividade da POX poderia indicar um papel protetor da enzima contra o estresse, atuando como barreira através da quebra de substâncias tóxicas geradas como radicais livres (H_2O_2), fenólicos e etc (GRODEN & BECK, 1979; DHINDSA & MATAWE, 1981; GASPAR et al., 1985; SUBASHINI et al., 1990; GANGOPADHYAY et al., 1996).

Sob condições de estresse, as plantas tendem a aumentar a atividade da POX e, às vezes, é a primeira enzima a ter atividade alterada, independentemente do substrato utilizado ou do estresse aplicado (SIEGEL, 1993). A atividade da POX pode ser tomada como marcador bioquímico de estresse resultante tanto de fatores bióticos como abióticos (LIMA et al., 1999; ROSSI & LIMA, 2001).

As catalases (CAT) são enzimas hemoproteínas tetraméricas (E.C. 1.11.16) encontradas em todos os organismos aeróbios, localizam-se no citoplasma e nas organelas mitocôndrias e peroxissomos, sendo responsáveis pela transformação de $2 H_2O_2$ em O_2 e $2 H_2O$ (VRANOVA et al., 2002).

A rápida eliminação do H_2O_2 é necessária uma vez que as EROs podem inativar diversas enzimas pela oxidação do seu grupo tiol, como por exemplo às enzimas do Ciclo de Calvin (EDWARDS et al., 1994). As plantas, assim como os animais, possuem diferentes isoformas de catalases que são codificadas por três genes: Cat1, Cat2 e Cat3 (SCANDALIOS, 1993). Tais genes são responsáveis pela codificação das isoenzimas Cat1, Cat2 e Cat3 que são expressos diferentemente, dependendo do tecido e de acordo com o estágio de desenvolvimento da planta (BAEK & SKINNER, 2003).

As Cat1 são responsáveis pela transformação do H_2O_2 produzida na fotorrespiração em H_2O e O_2 e estão localizadas no interior de peroxissomos (MENEZES-BENAVENTE et al., 2004), as Cat2 estão envolvidas no processo de lignificação e são encontradas nos tecidos vasculares (SCANDALIOS, 1993), e as Cat3 são as mais abundantes em sementes e em plantas jovens e têm a função de catalisar a degradação de moléculas de H_2O_2 formadas durante a β -oxidação de ácidos graxos e em peroxissomos de folhas verdes durante a fotorrespiração pela transformação do glicolato em glioxilato e estão localizadas no mesófilo das células (VAN BREUSENGEM et al., 2001).

É sugerido que as isoformas de CAT podem ser reguladas, no tempo e no espaço, em resposta à diferenças de luz (SCANDALIOS, 1993). Este fato foi verificado por FOYER & NOCTOR (2003) que ao submeterem *Impatiens flanaganii* a alta intensidade de luz detectaram o aumento da atividade da CAT. Essa enzima torna-se essencial para destruição de H_2O_2 formado na fotorrespiração realizada em plantas C3. Em plantas C4 onde a fotorrespiração é reduzida ou inexistente foi verificada uma diminuição da atividade desta enzima (FOYER & NOCTOR, 2003). Foi constatado que o frio foi capaz de induzir a inibição da atividade da CAT em *Euphorbia esula* (DAVIS & SWANSON, 2001). Em sementes de cevada tratadas com cádmio foi verificado o aumento da expressão da atividade da CAT (PATRA & PANDA, 1998). Resultado semelhante foi constatado quando o efeito de níquel foi testado em plantas de *Leucaena leucocephala* coletada em solos contaminados pela adição de resíduos industriais e por este metal, que apresentou aumento da atividade da CAT (ROUT & SAMANTARY, 1999). Em milho também foi verificado aumento da atividade da CAT após 24 horas de tratamento com esse metal em raízes (BACCOUCH et al., 2001). Entretanto, em plantas de *Alyssum bertoni* tratadas com níquel, foi constatada a redução da atividade da

CAT no decorrer do tempo de tratamento com este metal (BOOMINATHAN & DORAN, 2002).

4.4 Boro (B)

4.4.1 Absorção, translocação e funções na planta

Até o presente momento não há relatos na literatura evidenciando a participação do nutriente boro (B) em nenhum composto vital, bem como em sua ausência, nenhuma reação importante para o metabolismo deixou de ocorrer, portanto para o B, o critério direto de essencialidade não se aplica (MALAVOLTA et al., 1997). As funções bioquímicas deste nutriente ainda não foram plenamente esclarecidas, porém diversos autores, como, por exemplo, DECHEN et al. (1991) e MATOH (1997) comprovaram sua essencialidade às plantas.

O B ocorre sob cinco formas no solo: minerais primários como turmalina e micas ricas em B; minerais secundários, principalmente dentro da estrutura das argilas; adsorvido às argilas, na superfície de hidróxidos e na matéria orgânica; em solução como ácido bórico e como borato; bem como na matéria orgânica e biomassa microbiana (SHORROCKS, 1997). Para CAMARGO et al. (2001) a adsorção do B aos colóides minerais e orgânicos controla a concentração dos íons e complexos na solução do solo exercendo, então, grande influência na absorção deste nutriente pelas plantas.

GOLDBERG (1997) argumenta que a absorção de boro pelas plantas depende da sua concentração na solução do solo; e que essa, por sua vez, depende das reações de adsorção entre o boro e seus adsorventes no solo, tais como os óxidos de ferro e alumínio, os minerais de argila, a matéria orgânica, o hidróxido de magnésio e o carbonato de cálcio. Argumenta também que os fatores que influenciam a adsorção de boro são: a concentração inicial do nutriente no solo, o pH, os íons trocáveis presentes, o conteúdo de matéria orgânica e a umidade do solo. A adsorção de boro no solo aumenta com o aumento do pH, da temperatura, do teor de materiais adsorventes e com a diminuição da umidade do solo. A reação do solo (pH) é o fator que mais influencia na absorção de B pelas plantas, uma vez que

o aumento do pH ocasiona uma diminuição na absorção. Isto ocorre porque em valores de pH abaixo de 7 a forma predominante é o ácido bórico que, tendo pouca afinidade com os minerais de argila, é pouco adsorvido pelo solo e é uma forma disponível para as plantas. À medida que o pH aumenta, aumenta a concentração de B na forma de borato $[B(OH)_4]$, que possui forte afinidade pelos minerais de argila, resultando no aumento da adsorção do B (KEREN et al., 1985; HU et al., 1997).

A absorção de B pelas raízes ocorre, principalmente, na forma de ácido bórico; e é influenciada por vários fatores ambientais, tais como, pH, textura do solo, umidade, temperatura, matéria orgânica, intensidade de luz e mineralogia da argila (HU & BROWN, 1997). Entre os fatores ambientais não edáficos, a taxa de transpiração é a que mais influencia a absorção de B. O aumento da transpiração promove o aumento na absorção de B, que é influenciada pela umidade relativa, temperatura e intensidade luminosa (HU et al., 1997). HU et al. (1997) sugerem que a absorção de B pelas plantas superiores é um processo passivo, não-metabólico, que age em resposta à concentração externa de ácido bórico, à permeabilidade da membrana, à formação de complexos dentro da célula e à taxa de transpiração.

A distribuição de B nas plantas ocorre pelo xilema que é, predominantemente, transportado via fluxo de transpiração, sendo afetado, principalmente, pela temperatura e intensidade luminosa, pelo conteúdo de água no solo e pela umidade relativa (ASAD et al., 2001; SHELP & BROWN, 1995).

A inibição rápida e específica no crescimento das plantas que ocorre devido à deficiência de B é consequência de duas importantes características fisiológicas: a função estrutural específica que o nutriente desempenha na composição da parede celular (LOOMIS & DURST, 1992; HU & BROWN, 1994; MARSCHNER, 1995) e sua limitada mobilidade na maioria das espécies vegetais (OERTLI & RICHALDSON, 1970), principalmente as que não produzem quantidades suficientes de polióis (manitol, sorbitol e dulcitol) na seiva do floema (SHU et al., 1997). Contudo, a mobilidade do boro no floema tem sido considerada para as espécies que produzem quantidades significativas de polióis, como sorbitol, manitol e dulcitol, como ocorre em membros das famílias Rosaceae, Rubiaceae e Celastraceae (HU et al., 1997).

O B (95 a 98 %) encontra-se principalmente ligado à parede celular, restando uma pequena porção que pode estar envolvida em outras funções na planta, quando

há restrição de sua disponibilidade (MATOH et al., 1992; HU & BROWN, 1994). A deficiência de B interfere em vários processos fisiológicos, principalmente a síntese protéica e a atividade da POX. Em plantas de girassol, deficientes em B, DUTTA & McILRATH (1964) constatarem redução sensível no conteúdo total de lignina e da atividade da enzima POX, catalisadora da síntese de lignina. Da mesma forma outros autores revelaram que a deficiência de B ocasiona redução no nível dessa enzima (AGUIRRE et al., 1977; GOLDBACH & AMBELEER, 1986). Por outro lado, FUMIS & BRASIL (1995) relataram que a atividade da POX decresce com o incremento da concentração de B.

Há na literatura relatos de diversos desarranjos fisiológicos atribuídos à deficiência de B, tais como transporte de açúcares e auxinas, síntese e estrutura da parede celular, divisão e alongação celular, lignificação, metabolismo de carboidratos, RNA, IAA e fenóis, respiração e integridade das membranas (PARR & LOUGHMAN, 1983; TANG & PUGNT, 1986; DECHEN et al., 1991; RÖMHELD, 2001), sendo particularmente importante na germinação do grão de pólen, assim como no crescimento do tubo polínico (AGARWALA et al., 1981).

CAKMAK & ROMHELP (1997) correlacionaram a má formação de membranas e perda de sua integridade funcional com a deficiência de B, isto é, a formação de complexos entre B e compostos polióis semelhantes à pectina em parede celular, glicoproteínas ou glicolipídios em membranas e o-difenóis (ácido caféico e hidroxiferúlico), como responsáveis pela estabilidade da mesma. LEITE (2002) atribuiu à deficiência de B a má formação de parede celular, envolvido na formação de compostos pécticos.

A formação de quinonas, consequência da união de B aos blocos de ácido caféico, facilitam a síntese de álcoois fenólicos, precursores da biossíntese de lignina. A deficiência de B pode limitar a biossíntese de álcoois fenólicos e implicar em aumento na concentração de fenóis (PILBEAM & KYRKBY, 1983). HARKIM et al. (1973) demonstraram a presença de enzimas POX nas células lignificadas e sugeriram serem as únicas enzimas que polimerizam os álcoois em lignina.

De acordo com LANGE et al. (2005) a omissão de B causou perda da dominância apical e redução na concentração de Ca nos tecidos, da mesma forma PENALOSA et al. (1987) e YAMAUCHI et al. (1986) citaram que sua deficiência acarretou diminuição do teor de Ca na folha e indução à diminuição de Ca na fração pectina da parede

celular, respectivamente. Para RAMON et al. (1990) a absorção e translocação de Ca e K na planta foram afetadas pelo B. MORAES et al. (2002) enfatizaram redução dos constituintes da lamela média, principalmente do pectato de cálcio, cuja síntese é bloqueada pela carência de B.

O B pode afetar indiretamente o processo de fotossíntese, isto é, em plantas deficientes promove a redução parcial da atividade de compostos nitrogenados, como, por exemplo, a uracila, precursora da UDPG (uridina difosfato glicose), responsável pela síntese de sacarose (DUGGER, 1983). Com a diminuição da UDPG, pela ausência de B, ocorre o acúmulo de amido e redução na translocação de fotoassimilados (MORAES-DALLAQUA, 1992). Há diversos relatos na literatura referindo-se a decréscimos na taxa de assimilação de CO₂, com redução na translocação de fotoassimilados, em condições de deficiência de B, sendo tal fato explicado pela redução na frequência e no número de estômatos presentes na folha (SHARMA & RAMCHANDRA, 1990; LEITE, 2002; ZHAO et al., 2002).

Alguns autores defendem a hipótese de que em condições de deficiência de B ocorre redução no transporte da sacarose das folhas para outras partes da planta, pela maior produção de calose, a qual provoca a obstrução do floema, principal via de transporte da sacarose (VENTER & CURRIER, 1977; LOUÉ, 1993), ou pela redução da síntese de sacarose por inibição da ação de fosforilases ou redução na síntese de uracila, precursora da uridina difosfato glicose, coenzima essencial na formação da sacarose (LOUÉ, 1993; MARSCHNER, 1995).

O B é considerado móvel no floema de espécies que utilizam polióis (açúcares simples, como manitol, sorbitol e dulcitol) como metabólito fotossintético primário, ou seja, o complexo poliol-B-poliol formado nos tecidos fotossintéticos é transportado no floema para drenos ativos, como meristemas vegetativos ou reprodutivos. Por outro lado, em espécies cuja produção de polióis é mínima, o B, uma vez transportado até a folha através do fluxo transpiratório, não pode entrar no floema, resultando na sua completa imobilidade na folha (BROWN & HU, 1998). Desse modo, se o nutriente for imóvel, uma única aplicação foliar pode não ser efetiva, uma vez que a exigência é contínua, contudo o maior número de aplicações pode constituir uma alternativa (ROSOLEM et al., 1997).

A absorção de B é um processo não metabólico e controlado pela formação de complexos de B não trocáveis no citoplasma e parede celular. A difusão do ácido bórico sem carga através da bicamada lipídica da membrana, com a permeabilidade da membrana sendo principalmente determinada pelo caráter lipofílico do ácido bórico, é capaz de explicar a absorção passiva de B; no entanto, outros mecanismos de transporte transmembrana podem estar envolvidos em sua absorção, isto é, pode ocorrer pela entrada facilitada do ácido bórico através de canais iônicos e, em baixo suprimento de B, através de transportadores dependentes de energia (DORDAS & BROWN, 2000). Outra importante propriedade do ácido bórico, capaz de influenciar a absorção de B, é sua habilidade em formar complexos *cis*-diol com moléculas orgânicas (açúcares e seus derivados (açúcar e álcoois), fenóis, ácidos orgânicos e alguns polímeros), no citoplasma ou na parede celular. Exemplos comuns são o sorbitol, o manitol, o glicerol, a ribose, a apiose e a frutose. Recentemente complexos-B de baixo peso molecular formados com o manitol, o sorbitol e a frutose têm sido isolados e caracterizados em tecidos vegetais (RAVEN, 1980; LOOMIS & DURST, 1992; HU et al., 1997).

De acordo com BROWN et al. (1992), o emprego de isótopo estável mostrou-se como alternativa eficiente e de baixo custo para o monitoramento do movimento de B em plantas e solo. Estes autores demonstraram que este nutriente pode ser pelo menos parcialmente móvel no floema, através da aplicação de B enriquecido, via foliar ou em solução nutritiva, e sua recuperação em frutos e castanhas. Da mesma forma BROWN & HU (1996) e BROWN & HU (1998) verificaram que, em espécies cujo açúcar mais abundante era o sorbitol, o B apresentou-se livremente móvel, enquanto que naquelas que apresentavam menor ou nenhuma quantidade de sorbitol, o B apresentou-se imóvel. BROWN & HU (1997) afirmaram que aplicações foliares de B podem ser empregadas de forma efetiva em espécies vegetais que produzam o sorbitol ou o manitol, atribuindo tal relato à mobilidade do B nessas espécies, enquanto que em espécies onde o B é imóvel, somente quando o nutriente for aplicado sobre o tecido que o necessita, a aplicação foliar será eficaz.

Na planta, grande parte do B encontra-se fortemente complexado na fração péctica da parede celular, ou seja, na forma não trocável e não podendo ser retirado (BROWN & HU, 1994; HU et al., 1996). Pesquisas revelaram o isolamento e a purificação de um complexo particular de B com um polissacarídeo, Rhamnogalacturona II (RGII),

sugerindo que o B não se liga ao acaso a polissacarídeos na parede celular. O RGII trata-se de um polímero de cadeia longa presente nas cadeias de pectina, e o B ligando-se a este polissacarídeo é capaz de unir essas cadeias (KOBAYASHI et al., 1996; MATOH et al, 1996).

4.5 Silício (Si)

4.5.1 Absorção, translocação e funções na planta

O silício é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre, ocorrendo principalmente no mineral inerte das areias, o quartzo (SiO_2), bem como na caulinita e outros minerais de argila. Em solos de textura e idade variadas do estado de São Paulo, RAIJ & CAMARGO (1973) verificaram os menores valores de silício solúvel no Latossolo fase arenosa e os maiores valores num Argissolo argiloso. Isto se deve à reduzida porcentagem de argila neste latossolo, aliada à menor superfície específica total em relação ao Podzólico menos intemperizado e mais argiloso.

O Si em solução comporta-se como um ácido muito fraco (H_4SiO_4), a maior parte não dissociada, o qual é prontamente absorvido pela planta (RAVEN, 2003), de tal forma que mesmo em pH 7,0 apenas 2 mg kg^{-1} está ionizado na forma carregada negativamente, H_3SiO_4^- , aumentando o grau de ionização com a elevação do pH (McKEAGUE & CLINE, 1963).

As principais fontes de silício presentes na solução do solo são resultados da decomposição de resíduos vegetais, dissociação do ácido silícico polimérico, da liberação de silício dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, dissociação de minerais cristalinos e não cristalinos, da adição de fertilizantes silicatados e da água de irrigação. Os principais drenos constituem a precipitação do silício em solução formando minerais, polimerização do ácido silícico, lixiviação, adsorção pelos óxidos e hidróxidos de Fe e Al e a absorção pelas plantas (LIMA FILHO et al., 1999).

Solos tropicais e subtropicais submetidos a intemperização e lixiviação, com cultivos sucessivos, tendem a apresentar baixos níveis de silício trocável, devido a dessilicificação. Normalmente apresentam baixo pH, alto teor de Al, baixa saturação por bases

e alta capacidade de fixação de P. Esses solos, quando utilizados intensivamente, principalmente com culturas acumuladoras de silício, podem tornar-se, paulatinamente deficientes no elemento, pois a exportação não é compensada pela adubação silicatada (LIMA FILHO et al., 1999).

A cana-de-açúcar e o arroz, assim como algumas gramíneas forrageiras apresentam grande acúmulo de Si, sendo consideradas como plantas acumuladoras deste elemento (KORNDÖRFER et al., 1998a; KORNDÖRFER et al., 1998b).

Atualmente, a partir do decreto lei número 4954 (que regulamente a lei 6894 de 16/01/1980), aprovado em 14 de janeiro de 2004 (BRASIL, 2004), que dispõe sobre a legislação de fertilizantes, o Si, apesar da grande quantidade absorvida por algumas espécies, com destaque para cana-de-açúcar, é considerado micronutriente benéfico às plantas. Sua absorção traz inúmeros benefícios, exercendo reconhecidamente influências na resistência das plantas ao ataque de insetos, nematóides, bactérias e fungos, na redução da transpiração e, possivelmente, em alguns aspectos da eficiência fotossintética (AGARIE et al., 1998; SAVANT et al., 1999; KORNDÖRFER et al., 2002; BERNI & PRASBHU, 2003; BOTELHO et al., 2003; KORNDÖRFER et al., 2003; LEME & GOUSSAN, 2003; PULZ, 2007; CRUSCIOL et al., 2009).

Acredita-se que o silício seja absorvido por fluxo de massa pelas gramíneas, por processo não seletivo (YASSUDA, 1989), ou seja, a absorção do silício da solução do solo dá-se de forma passiva, com o elemento acompanhando o fluxo de massa da água que penetra nas raízes das plantas.

A principal forma na qual o silício é encontrado na planta é a sílica amorfa hidratada, $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ e depois na forma de polímeros, formando complexos com polifenóis de grande estabilidade e baixa solubilidade. A maior parte do silício deposita-se no apoplasto na forma sólida, onde se torna imóvel. Grande parte do Si (99 %) encontra-se na forma de ácido silícico polimerizado e, apenas 1 % na forma coloidal ou iônica (JONES & HANDRECK, 1967; YOSHIDA, 1975; TAKAHASHI, 1996). Nas folhas de arroz, forma-se uma camada de sílica abaixo da cutícula, nas células epidérmicas, contribuindo para fortalecer a estrutura da planta, aumentar a resistência ao acamamento, reduzindo a perda de água e dificultando a penetração de hifas de fungos (TAKAHASHI, 1996; KORNDÖRFER et al., 2002a). Em função desta dupla camada de sílica abaixo da cutícula, nas células epidérmicas,

além de menor transpiração que reflete em maior economia de água, as plantas de arroz mantêm suas folhas mais eretas promovendo maior aproveitamento da luz e esta refletindo num maior aproveitamento fotossintético (TAKAHASHI, 1996). Assim, o uso do silício tem promovido melhoria na arquitetura da planta e aumento na fotossíntese (DEREN et al., 1994) resultado de uma menor abertura do ângulo foliar, deixando as folhas mais eretas, diminuindo o auto-sombreamento, sobretudo em condições de alta densidade populacional e altas doses de nitrogênio (YOSHIDA et al., 1969; BALASTRA et al., 1989).

Para KORNDÖRFER et al. (2003), a sílica na planta, concentra-se nos tecidos de suporte, do caule e das folhas, podendo ser encontrada em pequenas quantidades nos grãos. No arroz, a sílica é acumulada nas células da epiderme e nas paredes das células, bem como no exudato de transpiração dos órgãos sob a forma de sílica coloidal.

De acordo com LIMA FILHO et al. (2003), além de promover melhorias no metabolismo, o Si pode, em situações de estresse abiótico, ativar genes envolvidos na produção de fenóis e enzimas relacionadas com mecanismos de defesa da planta. Da mesma forma, EPSTEIN (2001) identificou uma proteção ativa induzida pelo Si dentro das células, sendo que para EPSTEIN (1999) isto baseia-se na acumulação de lignina, compostos fenólicos e peroxidases.

O Si está envolvido em funções físicas de regulação da evapotranspiração, além de ser capaz de formar barreira de resistência mecânica à invasão de fungos e bactérias no interior da planta, dificultando também, o ataque de insetos sugadores e herbívoros. Estes efeitos são atribuídos à formação de camada dupla de sílica cuticular decorrente da acumulação do elemento nos órgãos de transpiração, induzindo a redução do processo de transpiração e, por consequência, a exigência de água pela planta e, ao depósito do elemento na forma de sílica amorfa ($\text{SiO}_2\text{NH}_2\text{O}$) na parede celular, respectivamente (KORNDÖRFER et al., 1997; EPSTEIN, 1999; FILHO & PRABHU, 2002; POZZA et al., 2003).

WANG & GALLETA (1998) enfatizaram que a aplicação foliar de Si incrementou o teor de clorofila e o conteúdo de ácidos orgânicos em contrapartida ao declínio do conteúdo de carboidratos solúveis em plantas de morango, bem como incrementou nos níveis de glicolipídios e fosfolipídios, podendo contribuir para a manutenção da permeabilidade da membrana, induzindo à expansão celular e favorecendo o crescimento da

planta. Segundo BENSON (1964) e CHANG & LUNDIN (1965), os glicolipídios são importantes componentes dos cloroplastos e podem estar envolvidos no transporte de carboidratos e na fotoredução dos citocromos, respectivamente. Para SIMON (1974) os fosfolipídios desempenham a função chave na organização molecular das membranas.

EMADIAN & NEWTON (1989) atribuíram ao Si o maior crescimento observado em plantas de morango, uma vez que constataram aumento do volume de água no simplasto e elasticidade dos tecidos, os quais foram associados à expansão celular e ao crescimento vegetal.

O Si tem demonstrado ainda, interação com outros elementos, de forma a minimizar a toxicidade causada por micronutrientes como Fe, Zn, Cu e Mn, quando presentes em níveis excessivos no solo, favorecendo o maior desenvolvimento da planta (CHENG, 1982).

A aplicação de materiais contendo Si em cana-de-açúcar (CLEMENTS, 1965) melhorou a produção de açúcar, aparentemente devido à supressão da toxicidade causada pelo Mn. Entretanto, outros autores sugeriram a correlação direta do Si, fornecido através de solução nutritiva, com a síntese de sacarose, isto é, atribuíram ao Si incremento no teor de sacarose nas folhas, enquanto, marcadamente, afetou enzimas hidrolíticas e oxidativas (ALEXANDER, 1967; ALEXANDER, 1968a; SAMUELS & ALEXANDER, 1969). Da mesma forma ALEXANDER (1968b) estudando os efeitos da combinação foliar do ácido giberélico (AG) e Si na produção de açúcar em cana, concluíram que o Si na concentração de 10.000 ppm retardou severamente o crescimento, todavia a concentração de 100 ppm reduziu a atividade das enzimas fosfatase, ATPase, peroxidase e polifenol oxidase, porém atribuiu o incremento em sacarose, quase que totalmente, à supressão na atividade da invertase. Sobretudo os resultados mostraram que o AG e o Si podem aumentar a produção e o acúmulo de sacarose independentemente um do outro, mas quando combinados, este incremento é superior ao observado para ambos isoladamente. Conforme PEREIRA et al. (2003) o Si pode favorecer a fotossíntese ao proporcionar folhas mais eretas, resultando em maior eficiência fotossintética e maior produção.

Segundo ALEXANDER et al. (1970a) o Si fornecido em solução nutritiva (metassilicato de sódio, 250 e 500 ppm) retardou o crescimento da cana-de-açúcar, contudo a concentração de Si mais favorável ao crescimento e produção de sacarose manteve-

se entre 100 e 250 ppm, além do que as enzimas foliares peroxidase, polifenol oxidase, fosfatase, ATPase e amilase, foram fortemente inibidas à medida que o fornecimento de Si na solução aumentava.

Em estudo envolvendo a aplicação foliar de Si (metassilicato de sódio, $(\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O})$, 500 ppm) em cana-de-açúcar, combinado com Paraquat e Diquat, ALEXANDER et al. (1970b) enfatizaram que o Si conservou a integridade do tecido foliar, exercendo função de proteção para reações fotossintéticas e conseqüentemente aumento no nível de sacarose, além do que, o elemento suprimiu a atividade enzimática da amilase e invertase foliar. Dessa forma afirmaram que os efeitos indesejáveis de compostos químicos (maturadores) podem ser modificados mediante a regulação de enzimas críticas. Também ALEXANDER (1967) sugeriram a inibição enzimática como uma função fisiológica do Si em cana-de-açúcar, uma vez que o elemento fornecido em solução nutritiva (20 e 200 ppm) reduziu a atividade das enzimas invertase e tirosinase.

4.6 Maturadores

A gradativa queda de temperatura e a redução das precipitações são determinantes para a ocorrência do processo de maturação, dessa forma, na região Sudeste do Brasil, o processo tem ocorrência natural a partir de abril/maio, com clímax no mês de agosto (DEUBER, 1988; ANDRADE, 2006).

A maturação natural, em início de safra, pode ser deficiente, mesmo em variedades precoces. Neste contexto, o emprego de maturadores destaca-se como ferramenta importante. São produtos aplicados com a finalidade de antecipar o processo de maturação, promover melhorias na qualidade da matéria-prima a ser processada, otimizar os resultados agroindustriais e econômicos e auxiliar no planejamento da safra, permitindo pois, o indispensável manejo da cultura em seu moderno sistema de produção (PONTIN, 1995; LEITE e CRUSCIOL, 2008; LEITE et al., 2009; LEITE et al., 2009a; LEITE et al., 2009c).

Fatores como a época de aplicação dos produtos químicos, as doses utilizadas e a época de corte da matéria-prima podem influenciar na eficiência dos produtos químicos inibidores de florescimento e maturadores da cana-de-açúcar. Vários produtos vêm

sendo empregados na cultura nos últimos anos, sendo os principais o Etefon, o Glifosate, o Imazapyr, a Hidrazida maleica, o Sulfometuron metil, o Etil-trinexapac, entre outros.

Os produtos comerciais Krista Kana Maturação¹ (KNO₃), Crop-Finisher (KNO₃) e K-Fol (KNO₃) referem-se a produtos ecologicamente corretos e possuem em sua formulação, potássio, elemento fundamental para a cultura que contribui para a redução na taxa de respiração foliar, proporciona aumento na fotossíntese, aumento no movimento da sacarose das folhas para os tecidos e aumento da síntese e translocação de proteínas e reduz a atividade hidrolítica da invertase ácida acarretando maior quantidade de sacarose. Atuam como indutores de maturação, sem paralisar o crescimento da planta; tem a função de nutrir a cultura, aumentar a produtividade, elevar os níveis de açúcar e diminuir a susceptibilidade ao estresse hídrico devido às ações do potássio, sem afetar a brotação de soqueira (LEITE, 2005; LEITE et al., 2008; LEITE et al., 2009; LEITE et al., 2009c).

Pesquisa³ envolvendo a comparação entre o KNO₃ Maturação e alguns produtos utilizados comercialmente (Etil-trinexapac, Sulfometuron metil e Glifosate), permitiram concluir que o KNO₃ possui efeito maturador, pois proporcionou aumento do açúcar teórico recuperável (ATR), sem paralisar o desenvolvimento da cultura, tendo reflexos no aumento da produtividade, permitindo ganho em pol cana, bem como redução na fibra cana (LEITE, 2005; LEITE et al., 2008; LEITE et al., 2009; LEITE et al., 2009c).

Produtos do grupo químico sulfoniluréia caracterizam-se como potentes inibidores do crescimento vegetal, afetando tanto o crescimento como a divisão celular, sem interferir diretamente no sistema mitótico e na síntese de DNA. Aparentemente não bloqueiam diretamente a ação de promotores de crescimento (auxinas, giberelinas, citocininas), sendo que estimulam fortemente a produção de etileno devido ao efeito estressante causado pela fitotoxicidade. Moléculas de sulfoniluréia originárias da absorção foliar ou radicular, quando atingem o meio da parede celular, podem mostrar-se neutras, forma altamente permeável e suscetível de sofrer carregamento no floema. Nesse meio alcalino, as moléculas se dissociam na forma aniônica, tornam-se presas e movem-se de modo sistêmico por fluxo de massa através do floema.

Pesquisas realizadas com o Sulfometurom Metil (SM), grupo químico sulfoniluréia, têm evidenciado o potencial efeito maturador em variedades de cana-de-açúcar,

^{1,3} Extraído de ensaios de maturação induzida nas Fazendas N. S. Fátima e Miroma, responsabilidade Canagril-Cana Agrícola Ltda (canagril@netsite.com.br) e Hydro Agri Brasil (11-4191 0149), 03/09/2003.

sem prejuízos à produtividade de colmos. Os resultados obtidos têm comprovado consistência no incremento na pol cana e redução no índice de chochamento, embora com diferentes magnitudes (OLIVEIRA, 1992; PONTIN, 1995; LEITE et al., 2009b).

O produto químico Sulfometuron metil (grupo químico sulfoniluréia), quando aplicado em diferentes variedades de cana-de-açúcar, possibilitou melhoria da qualidade tecnológica da cana, ou seja, determinou resposta significativa com relação a ganhos de pol, aumentos da pureza e redução no teor de ácidos orgânicos do caldo, e maior possibilidade de se produzir açúcar de melhor qualidade (FERNANDES et al., 2002).

O Glifosate inibe a síntese de triptofano, tirosina e fenilalanina (aminoácidos de cadeia aromática), sendo o primeiro, precursor da síntese de ácido indol acético (AIA), um regulador vegetal.

Trabalhos têm comprovado que o Glifosate pode ser utilizado como alternativa técnica e econômica, permitindo flexibilizar o período de corte e o manejo do comportamento das variedades quanto ao ciclo de maturação. Segundo resultados obtidos, observa-se melhoria da qualidade da matéria-prima para a indústria, paralização do florescimento (redução da chochamento), otimização do potencial de maturação das variedades e maximização da margem de contribuição agrícola e industrial. Na literatura freqüentemente encontramos resultados demonstrando que a aplicação de Glifosate, produto comercial Roundup, tem promovido incrementos na pol cana, redução do chochamento e no teor de fibra, menor perda de volume de caldo, redução no número médio de entrenós por colmo e no peso da produção da cana-de-açúcar (GALLI, 1993; CASTRO et al., 2002; LEITE e CRUSCIOL, 2008).

Estudos relataram que o emprego de Glifosate em cana-de-açúcar como maturador promoveu incremento no teor de açúcares recuperáveis e, conseqüentemente na produção de açúcar. Há informações na literatura revelando diferenças mínimas entre as distintas formulações de Glifosate aplicado à cultura da cana-de-açúcar, entretanto, todas as formulações promoveram incremento no teor de sacarose e na produção de açúcar em relação ao controle (VILLEGAS & TORRES, 1993; BENNETT & MONTES, 2003; VIATOR et al., 2003; LEITE e CRUSCIOL, 2008).

5. MATERIAL E MÉTODOS

O projeto de pesquisa foi composto de 2 (dois) experimentos, cada qual envolvendo duas variedades de cana-de-açúcar, instalados em áreas das Fazendas Bosque e Santa Maria pertencentes ao Grupo COSAN no município de Igaraçu do Tietê (SP) nas safras 2006 e 2007 (variedade de cana-de-açúcar de maturação média-tardia) e nas safras 2007 e 2008 (variedade de cana-de-açúcar de maturação precoce).

5.1 Localização e caracterização da área experimental e das variedades de cana-de-açúcar

Os experimentos foram instalados no mês de setembro nas safras 2006 e 2007 na Fazenda Bosque, e nos meses de março nas safras 2007 e 2008 na Fazenda Santa Maria.

As Fazendas, pertencentes ao Grupo COSAN – Unidade Barra (Usina da Barra), estão localizadas no município de Igaraçu do Tietê, Estado de São Paulo. A

Fazenda Santa Maria caracteriza-se por apresentar latitude de 22° 38' 45''S e longitude 48° 36' 29''W numa altitude de 620 m. A Fazenda Bosque apresenta latitude de 22° 33' 18''S e longitude 48° 31' 51''W numa altitude de 509 m. O solo de ambas as áreas experimentais possuem a mesma classificação, isto é, Nitossolo Roxo (EMBRAPA, 1999). O clima predominante da região é o Aw (Köppen), com clima seco definido, temperatura média anual de 21,6 °C, umidade relativa média de 70 %, com extremos de 77 % em fevereiro e 59 % em agosto. A média pluviométrica é em torno de 1.344 mm.

Na Figura 1 estão contidos os dados de precipitação pluvial e temperatura (máxima, mínima e média) registrados durante a condução dos experimentos na Estação Meteorológica da Fazenda Bosque, município de Igarapu do Tietê (SP).

As variedades de cana-de-açúcar utilizadas foram: RB855453 (2º corte) e SP80-3280 (3º corte). A variedade de cana-de-açúcar RB855453 caracteriza-se por apresentar média produtividade de colmos, altíssimo teor de sacarose com alta precocidade de maturação, média exigência em fertilidade de solos, com boa brotação de soqueira e bom perfilhamento, touceiras eretas, florescimento intenso e chochamento médio (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, 1998). A variedade de cana-de-açúcar SP80-3280 caracteriza-se por apresentar alto teor de sacarose e produtividade em soqueira, maturação média para tardia, média exigência em fertilidade de solos, boa brotação de soqueiras, floresce, no entanto apresenta pouca isoporização, além de perfilhamento intermediário (COOPERATIVA DE PRODUTORES DE CANA, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO LTDA., 1997).

5.2 Delineamento experimental e caracterização dos experimentos

Em todos os experimentos foi adotado o delineamento experimental em blocos casualizados, com cinco repetições. As parcelas foram constituídas de 8 linhas de 25 metros de comprimento com espaçamento entrelinhas de 1,4 metros, considerando-se 02 linhas de bordadura e 06 linhas de área útil. Para as avaliações bioquímicas/fisiológicas, nutricionais, biométricas e tecnológicas foram consideradas somente as linhas integrantes da área útil desprezando-se 1 metro na extremidade de cada linha de plantas.

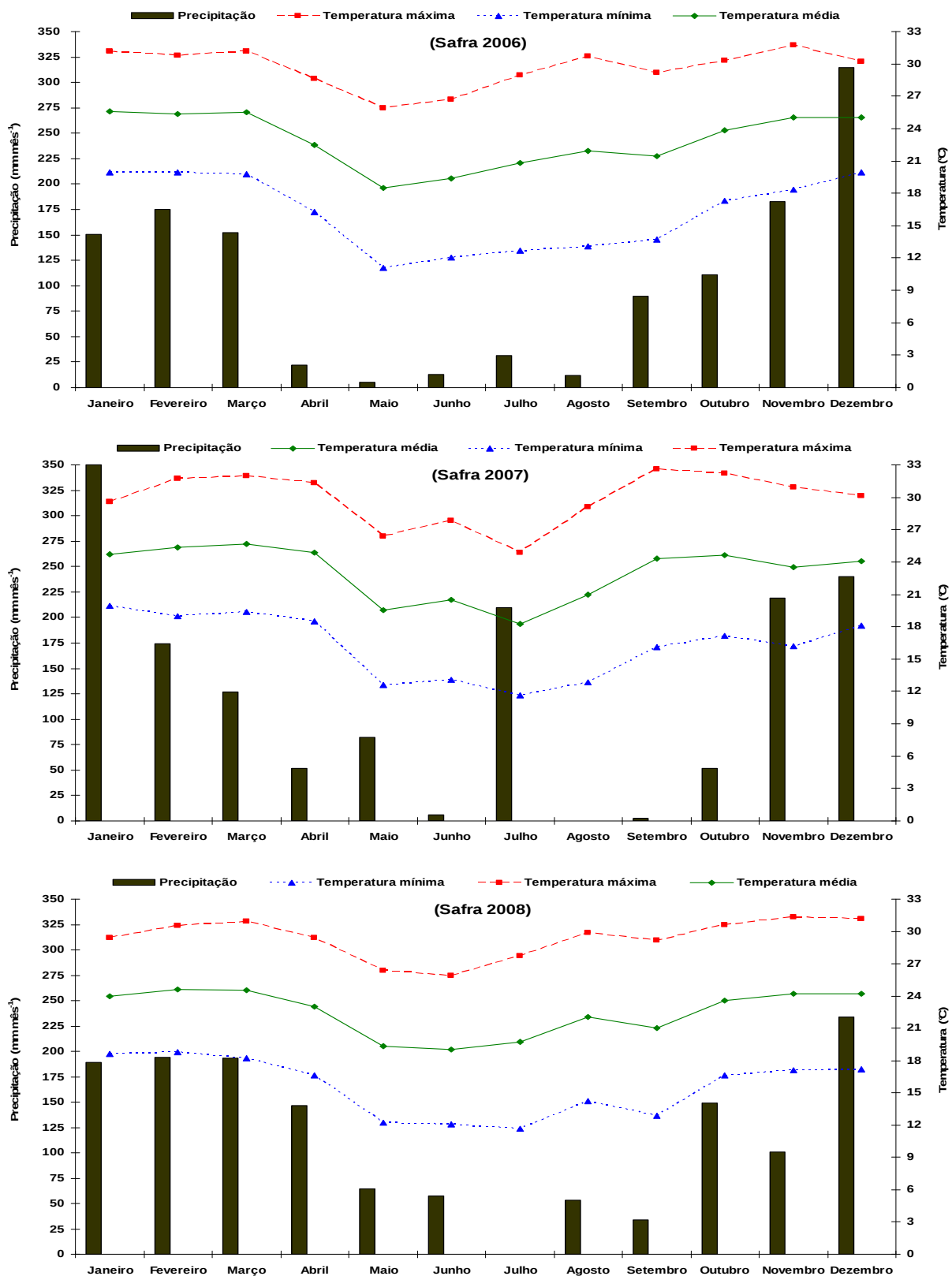


Figura 1. Precipitação pluvial (mm mês⁻¹) e temperaturas (°C) máxima, mínima e média registrados na Estação Meteorológica da Fazenda Bosque, Igaráu do Tietê (SP).

5.2.1 Maturadores associados a boro aplicados via foliar em cana-de-açúcar

O experimento foi constituído de 8 tratamentos representados pela aplicação de três maturadores com diferentes mecanismos de ação, sendo dois classificados como inibidores (Glifosate e Sulfometuron metil) e um classificado como retardante do crescimento (KNO_3), e a testemunha (maturação natural), associados ou não à aplicação foliar de boro (1 – Testemunha (maturação natural), 2 – Boro, 3 – Glifosate, 4 – Sulfometuron metil, 5 – KNO_3 , 6 – Glifosate + Boro, 7 – Sulfometuron metil + Boro, 8 – KNO_3 + Boro).

A aplicação e a dosagem dos produtos químicos seguiram as especificações recomendadas pelos fabricantes, adicionando-se 1 % de óleo vegetal (produto comercial (pc) Natural Óleo da Stoller) à calda de aplicação. Assim foram empregadas as seguintes doses: Boro [pc Speedfol B SP (17 % de B) na dose de 220 g de ácido bórico ha^{-1}], KNO_3 (pc Krista Kana na dose de 3 kg ha^{-1}), Sulfoniluréia (pc Curavial na dose de 20 g ha^{-1}) e Glifosate (pc Roundup na dose de 0,4 L ha^{-1}).

5.2.2 Maturadores associados a silício aplicados via foliar em cana-de-açúcar

O experimento foi constituído de 8 tratamentos representados pela aplicação de três maturadores com diferentes mecanismos de ação, sendo dois classificados como inibidores (Glifosate e Sulfometuron metil) e um classificado como retardante do crescimento (KNO_3), e a testemunha (maturação natural), associados ou não à aplicação foliar de silício (1 – Testemunha (maturação natural), 2 – Silício, 3 – Glifosate, 4 – Sulfometuron metil, 5 – KNO_3 , 6 – Glifosate + Silício, 7 – Sulfometuron metil + Silício, 8 – KNO_3 + Silício).

A aplicação e a dosagem dos produtos químicos seguiram as especificações recomendadas pelos fabricantes, adicionando-se 1 % de óleo vegetal (produto comercial (pc) Natural Óleo da Stoller) à calda de aplicação. Assim foram empregadas as seguintes doses: Silício [pc Fertilisil (26 % de SiO_2 e 12 % K_2O) na dose de 1440 g de Si ha^{-1}],

KNO₃ (pc Krista Kana na dose de 3 kg ha⁻¹), Sulfoniluréia (pc Curavial na dose de 20 g ha⁻¹) e Glifosate (pc Roundup na dose de 0,4 L ha⁻¹).

5.3 Instalação e condução dos experimentos

A variedade de cana-de-açúcar RB855453 (maturação precoce) foi plantada em 19 de janeiro de 2004 na Fazenda Santa Maria, com data da última colheita em 18 de abril de 2006 (2º corte). No plantio da cana-de-açúcar foi aplicado 2 t ha⁻¹ de calcário. Foram aplicados os inseticidas Metarhizium (10 kg ha⁻¹) e Deltametrina (0,250 L ha⁻¹) e os herbicidas Glifosate (1,1 L ha⁻¹) e Isoxaflutole (0,18 kg ha⁻¹). Na adubação de soqueira foram aplicados 322 kg ha⁻¹ da fórmula 33-00-00 mais 150 m³ ha⁻¹ de vinhaça e, quanto aos herbicidas, foram utilizados o sulfentrazone (1,5 L ha⁻¹) e o 2,4-D (1,0 L ha⁻¹).

A variedade de cana-de-açúcar SP80-3280 (maturação média-tardia) foi plantada em 18 de dezembro de 2002 na Fazenda Bosque, com data da última colheita em 27 de outubro de 2005 (3º corte). No plantio da cana-de-açúcar foi aplicado 1,5 t ha⁻¹ de calcário. Foram aplicados os inseticidas Metarhizium (10 kg ha⁻¹) e Deltametrina (0,25 L ha⁻¹) e os herbicidas Glifosate (1,1 L ha⁻¹) e Isoxaflutole (0,18 kg ha⁻¹). Na adubação de soqueira foram aplicados 400 kg ha⁻¹ da fórmula 23-00-15 e, quanto aos herbicidas, foram utilizados o sulfentrazone (1,5 L ha⁻¹) e o 2,4-D (1,0 L ha⁻¹).

Para a variedade SP80-3280 (maturação média-tardia) os tratamentos foram aplicados em 01 e 04 de setembro na safra 2006 e em 17 e 19 de setembro na safra de 2007. A primeira data para cada safra, isto é, 01/09/2006 e 17/09/2007, refere-se ao momento da aplicação do nutriente (B e Si), enquanto a segunda data, 04/09/2006 e 19/09/2007, refere-se à aplicação dos maturadores.

Com relação à variedade RB855453 (maturação precoce), os tratamentos foram aplicados em 07 e 14 de março na safra 2007 e em 12 e 18 de março na safra 2008. A primeira data para cada safra, isto é, 07/03/2007 e 14/03/2008, refere-se ao momento da aplicação do nutriente (B e Si), enquanto a segunda data, 12/03/2007 e 18/03/2008, refere-se à aplicação dos maturadores.

A aplicação dos tratamentos, em todos os experimentos, foi mediante equipamento costal pressurizado (CO_2), com barra de 6 m de comprimento, em forma de T, contendo seis pontas AXI 11002 amarelo plástico, possibilitando a aplicação simultânea em quatro linhas. A pressão de trabalho foi de 50 PSI para a vazão de 100 L ha^{-1} .

5.4 Avaliações experimentais

5.4.1 Determinações tecnológicas

Na avaliação tecnológica, os colmos contidos na área útil das parcelas foram coletados, submetidos ao desponte na altura da gema apical e seccionados, separando o terço superior do restante do colmo, isto é, dos 2/3 inferiores. Posteriormente, as duas partes do colmo, separadamente, foram encaminhadas ao Laboratório de Análise Tecnológica de Cana-de-Açúcar do Grupo COSAN – Unidade Barra (Usina da Barra), onde foram realizadas as determinações tecnológicas, conforme o Sistema de Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose (SPCTS) e atualizações semestrais da CONSECANA, segundo descrito em FERNANDES (2003).

Com relação à variedade de cana-de-açúcar SP80-3280 (maturação média-tardia), na safra 2006, foram definidas as seguintes épocas de amostragem: - 1º amostragem em 01 de setembro de 2006 (00 DAA); - 2º amostragem em 11 de setembro de 2006 (10 DAA); - 3º amostragem em 21 de setembro de 2006 (20 DAA); - 4º amostragem em 01 de outubro de 2006 (30 DAA); - 5º amostragem em 16 de outubro de 2006 (colheita – 4º corte, 45 DAA). Na safra 2007 foram definidas as seguintes épocas de amostragem: - 1º amostragem em 19 de setembro de 2007 (00 DAA); - 2º amostragem em 03 de outubro de 2007 (14 DAA); - 3º amostragem em 29 de outubro de 2007 (42 DAA); - 4º amostragem em 12 de novembro de 2007 (colheita – 5º corte, 56 DAA).

Para a variedade RB855453 (maturação precoce), na safra 2007, foram definidas as seguintes épocas de amostragem: - 1º amostragem em 07 de março de 2007 (00 dias após a aplicação, DAA); - 2º amostragem em 27 de março de 2007 (20 DAA); - 3º

amostragem em 11 de abril de 2007 (35 DAA); - 4º amostragem em 26 de abril de 2007 (50 DAA); - 5º amostragem em 11 de maio de 2007 (colheita – 3º corte, 65 DAA). Na safra 2008 foram definidas as seguintes épocas de amostragem: - 1º amostragem em 18 de março de 2008 (00 DAA); - 2º amostragem em 01 de abril de 2008 (14 DAA); - 3º amostragem em 15 de abril de 2008 (28 DAA); - 4º amostragem em 13 de maio de 2008 (colheita – 4º corte, 56 DAA).

A amostragem tecnológica refere-se à análise realizada em caldo de cana-de-açúcar após a moagem dos colmos e extração do caldo bruto.

Foram realizadas as seguintes determinações tecnológicas:

5.4.1.1 Pol cana (%): obtida através da fórmula PCC (Pol % cana) = Pol % caldo * (1 – 0,01 * Fibra) * C, onde C = coeficiente de transformação da pol do caldo extraído em pol do caldo absoluto, calculado pela equação $C = 1,0313 - 0,00575 * \text{Fibra}$. A Pol % caldo refere-se à sacarose aparente no caldo (expressa em porcentagem) e foi determinada em sacarímetro digital automático.

5.4.1.2 Pureza caldo (%): determinada através do emprego da fórmula, $P (\text{Pureza}) = (\text{Pol \% caldo} / \text{Brix \% caldo}) \times 100$. O Brix % caldo refere-se aos sólidos solúveis no caldo (expresso em porcentagem) e foi determinado em refratômetro digital de leitura automática.

5.4.1.3 AR cana (%): os açúcares redutores por cento cana calculados pela equação $\text{ARC} (\text{AR \% cana}) = \text{AR \% caldo} * (1 - 0,01 * \text{Fibra}) * C$, onde C foi descrito anteriormente. O AR % caldo refere-se aos açúcares redutores no caldo (expresso em porcentagem), expresso em glicose, e dosados pelo cálculo $\text{AR \% caldo} = 3,641 - 0,0343 * Q$, onde Q refere-se à Pureza do caldo expressa em porcentagem.

5.4.1.4 Fibra cana (%): determinada pelo método da prensa hidráulica, conforme determinado no Ato 13/83, de 21/04/1983 – IAA, citado por MUTTON (1984) e atualizações semestrais do CONSECANA.

5.4.1.5 Curvas de maturação (pol cana): com base nas determinações tecnológicas (pol cana) realizadas separadamente no 1/3 superior e nos 2/3 inferiores dos colmos em cada época de amostragem associado à determinação da TCH do 1/3 superior e dos 2/3 inferiores dos colmos, por meio de cálculo (média ponderal) utilizando as informações supracitadas determinou-se a curva de maturação com base na pol cana das variedades de cana-de-açúcar RB855453 e SP80-3280.

5.4.1.6 Amido: determinação realizada após a moagem dos colmos e a extração do caldo bruto no Laboratório de Bebidas do Departamento de Gestão e Tecnologia Agroindustrial da FCA/UNESP, Campus de Botucatu, segundo metodologia descrita por SOMOGYI (1945) e NELSON (1944), com algumas adaptações para a realização em caldo de cana.

Alíquota de 10 mL da amostra de caldo de cana foi pipetado e, em seguida, acrescentou-se 10 mL de água destilada, sendo a solução centrifugada a 3500 rpm por 5 minutos. No precipitado foi adicionado 10 mL de água destilada e centrifugado novamente a 3500 rpm por 5 minutos. Este procedimento foi repetido 3 vezes. À solução obtida, foi realizada inversão dos açúcares adicionando-se 6 mL de HCl a 1N e levado à autoclave a 1 atm por 15 minutos, com posterior neutralização da solução com carbonato de sódio. Por fim, o volume foi completado com água destilada até 10 mL e a solução filtrada.

Posteriormente à neutralização e filtração do caldo de cana, alíquota de 1 mL foi pipetado e transferido para tubo de ensaio, sendo acrescentado 1 mL do Reativo de Somogyi. O tubo de ensaio foi disposto em banho-maria fervente por 10 minutos e depois resfriado em água corrente e, em seguida, acrescentou-se 1 mL do Reativo de Nelson e 7 mL de água, com posterior agitação da solução. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 535 nm, sendo realizado o cálculo da % Somogyi Nelson, através da fórmula:

$$\% \text{ Somogyi Nelson} = A\% \cdot D \cdot K \cdot 100 / 1.000.000$$
, onde: - A% = absorvância da amostra; - K = constante da curva padrão de glicose; - D = Diluição do material.

Em seguida determinou-se o cálculo da porcentagem de amido em caldo de cana por meio da fórmula:

% de amido = % Somogyi Nelson*0,90*250/V, onde: - V = volume inicial da amostra.

5.4.2 Determinações bioquímicas

5.4.2.1 Determinação das enzimas invertases ácida solúvel (SAI) e neutra (NI) em caldo de cana-de-açúcar

Nesta avaliação os colmos da área útil das parcelas foram coletados, submetidos ao desponte na altura da gema apical e seccionados, separando o terço superior do restante do colmo. Após a moagem de cada uma destas partes separadamente para extração do caldo bruto, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análises Bioquímicas do Departamento de Química e Bioquímica do Instituto de Biociências (IB/UNESP), onde foram realizadas as determinações bioquímicas referentes às enzimas SAI e NI.

Para as variedades SP80-3280 (maturação média-tardia) e RB855453 (maturação precoce) foram definidas as mesmas épocas de amostragens conforme a determinação tecnológica, mencionadas no item 5.4.1

A metodologia para determinação das atividades da SAI e da NI em caldo de cana foi adaptada de NELSON (1944), HATCH et al. (1963), RICARDO & APREES (1970), BRADFORD (1976), VIEIRA (1983) e ALBERTSON (2001), conforme descrito abaixo:

5.4.2.1.1 Determinação da atividade da SAI e NI

Posteriormente à moagem dos colmos e extração do caldo bruto procedeu-se as seguintes etapas: as amostras foram filtradas em papel de filtro 12,5 cm para melhor limpeza do suco; desse filtrado foi pego 5 ml, colocado em tubos de 20 ml para

centrifugar e acrescentado mais 5 ml do tampão de mercaptoetanol (pH 7,5); em seguida as amostras foram centrifugadas a 10.000 rpm, por 30 minutos a uma temperatura de 4°C; o sobrenadante foi guardado em frascos etiquetados e o precipitado foi novamente centrifugado com 5 ml do tampão fosfato de sódio (pH 7,0) 50mM, a 10.000 rpm por 30 minutos; esse segundo sobrenadante foi guardado em frascos etiquetados como “precipitado”.

a) Reação para invertase ácida solúvel (SAI): em tubos de ensaio foram pipetados 1,25 ml do extrato, 6,25 ml do tampão acetato de sódio (pH 4,5) e 2,5 ml sacarose 200mM; em seguida foram colocados em um banho Maria a uma temperatura de 37°C por 30 minutos; após esse tempo foi tirado do banho Maria e acrescentado 1 ml do reativo de Somogy; foi colocado novamente no banho por mais 10 minutos a 37°C; passado esse tempo, foi retirado do banho e acrescentado 1 ml do reativo de Nelson; em seguida foi feita a leitura no espectrofotômetro a 530nm.

b) Reação para invertase neutra (NI): em tubos de ensaio foram pipetados 1,25 ml do extrato, 6,25 ml do tampão fosfato de sódio (pH 7,5) e 2,5 ml sacarose 200mM; em seguida foram colocados em um banho Maria a uma temperatura de 37°C por 30 minutos; após esse tempo foi tirado do banho e acrescentado 1 ml do reativo de Somogy; foi colocado novamente no banho Maria por mais 10 minutos a 37°C; passado esse tempo, foi retirado do banho e acrescentado 1 ml do reativo de Nelson; em seguida foi feita a leitura no espectrofotômetro a 530nm.

5.4.2.2 Determinação da atividade das enzimas peroxidase (POX), superóxido desmutase (SOD) e catalase (CAT) em folhas de cana-de-açúcar

A análise do nível enzimático das enzimas POX, SOD e CAT foi realizada em folhas de cana-de-açúcar (folha +3) de 10 plantas selecionadas aleatoriamente na área útil da parcela, de acordo com a numeração sugerida por Kuijper (DILLEWIJN, 1952), contudo apenas o terço médio das folhas (excluindo-se a nervura central) foram enviados ao o Laboratório de Análises Bioquímicas do Departamento de Química e Bioquímica do Instituto de Biociências (IB/UNESP) para determinação do nível enzimático referente à POX, SOD e CAT, adotando-se o seguinte procedimento: após a coleta das folhas (folha +3), as mesmas

foram acondicionadas em sacos plásticos sob baixa temperatura e antecedendo a análise realizou-se a lavagem em água corrente e maceração para obtenção do extrato.

Para a variedade SP80-3280 (maturação média-tardia) nas safras 2006 e 2007 as épocas de amostragens bioquímicas foram as seguintes: - 1º amostragem aos 00 DAA; - 2º amostragem aos 07 DAA; - 3º amostragem aos 14 DAA; - 4º amostragem aos 28 DAA.

Para as amostragens bioquímicas envolvendo a variedade RB855453 (maturação precoce) nas safras 2007 e 2008, as seguintes épocas foram definidas: - 1º amostragem aos 00 DAA; - 2º amostragem aos 12 DAA; - 3º amostragem aos 24 DAA; - 4º amostragem aos 36 DAA.

A metodologia para determinação da atividade das enzimas POX, SOD e CAT foi adaptada de CHANCE & MAEHLI (1955), KAR & MISHRA (1976), GIANNOPOLITIS & RIES (1977), HAVIR & MCHALE (1987) e ANDERSON et al. (1995).

a) Peroxidase (POX): para a obtenção do extrato, 300 a 400 mg de amostra fresca foi pesado em balança de precisão digital, macerado em 5 mL da solução tampão fosfato de potássio pH 6,7 0,2 M (constituída por K_2PO_4 (base) e KH_2PO_4 (ácido)) e, em seguida, centrifugado por 5 minutos a 4°C a 10.000 rpm, sendo armazenado o sobrenadante. Para a reação, realizada em tubo de ensaio, os seguintes procedimentos foram executados: 1) Preparo da solução branca – constituída por 100 µL da solução tampão pH 6,7 0,2 M, adicionando-se 0,5 mL da solução A (constituída por H_2O_2 a 30 %, água destilada e solução tampão pH 6,7) e 0,5 mL da solução B (constituída por fenol, água destilada e aminoantipirina); 2) Preparo das amostras e reação – adicionou-se 0,5 mL da solução A e 0,5 mL da solução B em 100 µL do extrato, sendo os tubos colocados em banho maria por 5 minutos a 37 °C, em seguida 2 mL de álcool etílico foi usado para reduzir a velocidade de reação, com realização da leitura a 505 nm.

b) Superóxido dismutase (SOD): para a obtenção do extrato, 300 mg de amostra fresca foi pesado em balança de precisão digital, macerado em 3 mL da solução tampão pH 7,5 (0,05 M, constituída pela dissolução de K_2HPO_4 (base) e KH_2PO_4 (ácido)) e, em seguida, centrifugado por 20 minutos a 4°C a 10.000 rpm, sendo armazenado o sobrenadante. Para a reação, realizada em tubo de ensaio, os seguintes procedimentos foram executados: 1) Preparo da solução branca – constituída por 100 µL da solução tampão pH 7,5

(0,05 M), adicionando-se 2,9 mL da solução mista (constituída por metionina, NBT, soluções de EDTA, riboflavina e tampão pH 7,8), sendo os tubos protegidos por papel alumínio e mantidos no escuro por 10 minutos; 2) Preparo da solução controle – composta por 3 mL de solução mista, sendo realizado um controle para cada amostra analisada; 3) Preparo das amostras – adicionou-se 2,9 mL da solução mista em 100 μ L do extrato, sendo os tubos iluminados por 10 minutos; 4) Reação – realizou-se a leitura a 560 nm da solução branca, solução controle e das amostras.

c) Catalase (CAT): para a obtenção do extrato, 800 mg de amostra fresca foi pesado em balança de precisão digital, macerado em 2 mL da solução tampão pH 6,8 e, em seguida, centrifugado em eppendorf por 30 minutos a 2°C a 10.000 rpm, sendo armazenado o sobrenadante. Para a reação, realizada em tubo de ensaio, os seguintes procedimentos foram executados: 1) Procedimento – a amostra foi homogeneizada em solução tampão (fosfato de potássio) de extração pH = 6,8 (0,1 M) com o auxílio de nitrogênio líquido, em seguida transferido para tubos de ensaio, centrifugado a 10.000 rpm por 30 minutos a 2°C e armazenados em eppendorf a -20°C para determinação; 2) Determinação – em cubetas de quartzo foram colocados 650 μ L da solução tampão de determinação pH = 7,0, 50 μ L da solução tampão de extração pH = 6,8 (constituído por KH_2PO_4 (ácido) e K_2HPO_4 (base)), 250 μ L de H_2O_2 de 50 mM (constituído por H_2O_2 e água destilada), 50 μ L do extrato enzimático com início imediato da contagem do tempo para realização das leituras de absorbância a 240 nm, com anotação das leituras a cada 20 segundos no intervalo de 80 segundos.

5.4.2.3 Determinação da quantidade de carotenóides, clorofila a, clorofila b, antocianinas e compostos fenólicos totais

Posteriormente à colheita dos experimentos 1 e 2, isto é, na rebrota das soqueiras, para as variedades de cana-de-açúcar RB855453 (maturação precoce) e SP80-3280 (maturação média-tardia), procedeu-se a coleta de material vegetal da parte aérea aos 60 dias após a colheita (DAC).

Para a quantificação do teor de carotenóides, clorofila a, clorofila b e antocianinas, posteriormente à coleta da parte aérea de 10 plantas ao acaso na área

útil da parcela, o material foi acondicionado em saco plástico sob baixa temperatura (-80°C) e encaminhado para análise no Laboratório de Análises Bioquímicas do Departamento de Química e Bioquímica do Instituto de Biociências (IB/UNESP), conforme metodologia validada por LICHTENTHALER (1987) e MARKHAM (1989) e SIMS & GAMON (2002), que se basearam no coeficiente de absorvidade molar dos pigmentos em solução tamponada de acetona. O seguinte procedimento foi adotado: precedendo a análise realizou-se a lavagem do material vegetal em água corrente, sendo pulverizados em nitrogênio líquido, no momento da extração. A amostra foi homogeneizada em mini-turrax com 3 mL de uma solução gelada de acetona /Tris-HCl (80:20, v:v, pH 7,8 0,2M) durante 1 minuto. A extração foi conduzida em gelo e protegida da luz, em seguida a amostra foi centrifugada a 2.000 rpm por 5 minutos e o sobrenadante foi imediatamente conduzido para leitura na região do visível a 663 nm, 647 nm, 537 nm e 470 nm em espectrofotômetro UV/VIS para determinação dos pigmentos clorofila a, clorofila b, antocianina e carotenóides, respectivamente.

Na análise referente aos compostos fenólicos totais, cuja metodologia adaptada de SINGLETON et al. (1999), o material vegetal foi acondicionado em sacos de papel após a lavagem em água corrente, os quais foram dispostos em estufa de circulação forçada de ar à 60 °C até atingirem peso constante e, em seguida, o material foi moído em equipamento dotado de peneira com crivo de 1 mm. A quantidade de 100 mg de amostra foi transferida para tubos de ensaio, sendo acrescentado 3,5 mL de acetona 70 % e 1,5 mL de água destilada e, em seguida colocado em banho ultrassônico por 30 minutos, com posterior centrifugação a 10.000 rpm por 10 minutos a 4°C, sendo o sobrenadante armazenado e identificado como 1° centrifugação, enquanto o precipitado foi recentrifugado com os mesmos reagentes anteriores, originando a 2° centrifugação. Para a reação, realizada em tubo de ensaio, os seguintes procedimentos foram executados: 1) Preparo da amostra – composta por 0,1 mL do extrato obtido na 1° centrifugação com acréscimo de 0,9 mL de água destilada, 0,5 mL do reagente de Folin-Dennis (constituído por tungstato dihidratado, ácido fosfomolibílico, H₃PO₄ puro e água destilada) e 2,5 mL de carbonato de sódio (composto por carbonato de sódio e água destilada); 2) Preparo da solução branca – a alíquota de 0,1 mL de acetona 70 % foi acrescentada em substituição ao extrato, com posterior adição dos reagentes utilizados no preparo da amostra; 3) Reação – com o preparo da amostra e da solução branca, os materiais foram mantidos em repouso por 45 minutos seguido da leitura no comprimento de

onda a 495 nm; 4) Os procedimentos descritos anteriormente foram repetidos para o extrato obtido na 2º centrifugação e para a mistura dos extratos obtidos na 1º e 2º centrifugação.

5.4.3 Determinações nutricionais

A análise dos teores de boro, silício e potássio foram realizadas em folhas de cana-de-açúcar (folha +3) conforme a numeração sugerida por Kuijper (DILLEWIJN, 1952), destacando-se a nervura central, com uso somente do terço médio das folhas, adotando-se o seguinte procedimento: após a coleta das folhas, as mesmas foram acondicionadas em sacos plásticos sob baixa temperatura e antecedendo a análise realizou-se a lavagem em água corrente e acondicionamento do material vegetal em sacos de papel, os quais foram dispostos em estufa de circulação forçada de ar à 60 °C até atingirem peso constante e, em seguida o material foi moído em equipamento dotado de peneira com crivo de 1 mm. As análises nutricionais foram realizadas no Laboratório de Relação Solo-Planta do Departamento de Produção Vegetal (Agricultura) (FCA/UNESP).

Para a variedade SP80-3280 (maturação média-tardia) na safra 2006 as épocas de amostragens nutricionais foram as seguintes: - 1º amostragem em 01 de setembro de 2006 (00 DAA); - 2º amostragem em 08 de setembro de 2006 (07 DAA); - 3º amostragem em 15 de setembro de 2006 (14 DAA); - 4º amostragem em 29 de outubro de 2006 (28 DAA). Na safra 2007 as épocas de amostragem foram: - 1º amostragem em 17 de setembro de 2007 (00 DAA); - 2º amostragem em 24 de setembro de 2007 (07 DAA); - 3º amostragem em 01 de outubro de 2007 (14 DAA); - 4º amostragem em 08 de outubro de 2007 (21 DAA); - 5º amostragem em 29 de outubro de 2007 (42 DAA).

Para as amostragens nutricionais envolvendo a variedade RB855453 (maturação precoce), na safra 2007, as seguintes épocas foram definidas: - 1º amostragem em 07 de março de 2007 (00 DAA); - 2º amostragem em 12 de março de 2007 (05 DAA); - 3º amostragem em 17 de março de 2007 (10 DAA); - 4º amostragem em 27 de março de 2007 (20 DAA); - 5º amostragem em 06 de abril de 2007 (30 DAA); - 6º amostragem em 21 de abril de 2007 (45 DAA); - 7º amostragem em 06 de maio de 2007 (60 DAA). Para a safra 2008 as épocas de amostragens foram: - 1º amostragem em 14 de março de 2008 (00 DAA); - 2º

amostragem em 19 de março de 2008 (05 DAA); - 3º amostragem em 24 de março de 2008 (10 DAA); - 4º amostragem em 03 de abril de 2008 (20 DAA); - 5º amostragem em 18 de abril de 2008 (35 DAA); - 6º amostragem em 13 de maio de 2008 (56 DAA).

5.4.3.1 Determinação de boro (B) no tecido vegetal

O método por colorimetria pela azometina H foi utilizado para determinação de boro no tecido vegetal da cana-de-açúcar (folhas +3) conforme MALAVOLTA et al. (1997). A quantidade de 0,2 g de amostra foi transferida para cadinho de porcelana e incinerada em forno elétrico a 550°C por 3 horas e, após o esfriamento, adicionou-se 10 mL de HCl 0,1N para dissolução da cinza, com transferência do extrato para tubo de ensaio seguido do repouso por 24 horas. A alíquota de 2 mL do extrato foi retirada, adicionando-se 2 mL de solução tampão (ácido acético glacial), procedeu-se a homogeneização e adicionou-se 2 mL de azometina H 0,45 seguido de agitação. A solução (amostra) foi transferida para tubo colorimétrico após 30 minutos em repouso e realizou-se a leitura com filtro azul no comprimento de onda de 420 nm, acertando o zero no espectrofotômetro de emissão atômica com HCl 0,1N.

5.4.3.2 Determinação de silício (Si) no tecido vegetal

A metodologia empregada foi descrita por ELLIOT & SNYDER (1997) e adaptada por KORNDÖRFER & GASCHO (1999). Amostras de 0,1 g do material vegetal foram colocados em tubos plásticos, seguido do acréscimo de 2 mL de H₂O₂ p.a. (30%) e 3 mL de NaOH (1:1) para digestão. Os tubos foram agitados e colocados na autoclave pelo período de 1 hora a 123°C e 1,5 atm de pressão. A alíquota de 5 mL do sobrenadante foi retirada dos tubos e colocada em copos plásticos e, em seguida, acrescentado 15 mL de água destilada, 1 mL de HCL (1:1) e 2 mL de molibdato de amônio, com leve agitação. O Si presente no material transforma-se em H₄SiO₄ que desenvolve a cor amarela na presença do agente complexante, que é o molibdato de amônio em meio ácido (FARIA, 2000). Após 5 a 10

minutos, adicionou-se 2 mL de ácido oxálico, procedendo-se novamente uma leve agitação, com realização da leitura em espectrofotômetro no comprimento de onda de 410 nm.

5.4.3.3 Determinação de potássio (K) no tecido vegetal

A metodologia empregada foi descrita por SARRUGE e HAAG (1974), realizada no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA, Unesp, Campus de Botucatu), sendo utilizada a digestão nítrico perclórica e o método analítico foi o de fotometria de chama.

5.4.4 Determinação biométrica

5.4.4.1 Altura das plantas de cana-de-açúcar: na área útil de cada parcela, aleatoriamente foram selecionadas 10 plantas de cana-de-açúcar, antes da implantação do experimento e, posteriormente, no momento da colheita. A medição da altura das plantas, partindo do solo até a última região auricular visível da folha +1 foi realizada para a determinação do crescimento da parte aérea, de acordo com a numeração sugerida por Kuijper (DILLEWIJN, 1952), utilizando-se régua graduada em centímetros.

5.4.4.2 Diâmetro dos colmos: a mensuração do diâmetro dos colmos foi realizada nas mesmas 10 plantas selecionadas aleatoriamente para medição da altura das plantas, sendo mensurado o diâmetro do 3º entrenó acima da superfície do solo. A avaliação foi realizada antes da implantação dos experimentos e, posteriormente, no momento da colheita, por meio de paquímetro digital.

5.4.4.3 Produtividade de colmos (TCH): para cada época de amostragem quantificou-se a massa dos colmos, 1/3 superior e 2/3 inferiores separadamente.

Na colheita dos experimentos, com célula de carga, realizou-se a pesagem dos colmos nos 5 sulcos centrais na área útil de cada parcela, sendo a massa determinada em 50 m de linha e extrapolada para a obtenção da produtividade em toneladas de cana por hectare (TCH) e, em seguida, incluindo os valores mensurados para a altura das plantas, através da média ponderal determinou-se a TCH para cada época de amostragem.

5.4.4.4 Produtividade de açúcar (pol): com base nos parâmetros TCH e na curva de maturação (pol cana) determinou-se a produtividade de açúcar em tonelada de açúcar (pol) por hectare (TPH) para cada época de amostragem.

5.4.4.5 Rebrotas da soqueira: a contagem do número de brotos foi realizada aos 60 dias após a colheita (DAC) dos experimentos, sendo determinada em 10 metros de linha na área útil de cada parcela, com ajuste posterior para número de brotos por metro.

5.5 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância a 5 % de probabilidade pelo teste F.

Para o fator maturador os dados foram submetidos à comparação de médias a 10 % de probabilidade pelo teste Tukey.

Para o fator época de amostragem, para número de níveis inferior a 3 os dados foram submetidos à comparação de médias pelo teste Tukey a 10 % de probabilidade. Para número de níveis superior a 3 os dados foram submetidos à análise de regressão polinomial a 10 % de probabilidade pelo teste F.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Experimentos conduzidos no início das safras 2007 e 2008

6.1.1 Maturadores associados a boro aplicados via foliar em cana-de-açúcar

6.1.1.1 Atividade das enzimas invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no caldo do terço superior do colmo

Na interação entre maturadores (aplicados de forma isolada ou em associação com o boro) x épocas de amostragem (dias após aplicação) nas safras 2007 e 2008 é possível constatar que, de modo geral, os níveis da SAI foram superiores aos níveis da NI e, para cada época de amostragem, a aplicação isolada dos maturadores diferiu da associação

com o micronutriente, sendo que, independente da safra os tratamentos revelaram comportamentos distintos (Figura 2 e 3).

Os resultados podem ser explicados pelos diferentes mecanismos de ação dos compostos químicos aplicados, associados ou não ao micronutriente, aliado às condições climáticas reinante no período (Figura 1), corroborando com LEITE (2005). Por outro lado, VIEIRA et al. (1996a) observaram para a variedade NA56-79 que a atividade da isoenzima neutra predominou sobre a ácida.

No entanto os resultados podem ser explicados pelas condições climáticas, ou seja, a redução da disponibilidade hídrica nos meses subsequentes à aplicação dos tratamentos associado ao declínio da temperatura a partir do mês de março persistente até o mês de julho favoreceram o processo de maturação natural da cana-de-açúcar na safra 2007 (Figura 1). Na safra 2008, embora tenha ocorrido decréscimo na precipitação pluvial a partir do mês de março até o mês de julho acompanhado do declínio da temperatura, com pequenas diferenças em relação à safra anterior, tais condições estimularam o desenvolvimento vegetativo da cultura (Figura 1). A cana-de-açúcar tem crescimento vegetativo ótimo com temperatura oscilando entre 28 e 34°C, enquanto para a ocorrência do processo de maturação natural, a planta é exigente em temperaturas baixas (média mensal igual ou inferior a 21°C), para que haja repouso fisiológico e maior acúmulo de sacarose nos colmos, principalmente em regiões onde não há período de seca definido (CASTRO & KLUGE, 2001; ANDRADE, 2006).

Na safra 2007, com relação à aplicação dos maturadores associados ao boro, houve aumentos significativos na atividade da SAI com respostas quadráticas, sendo que para o Glifosate + B e para o KNO_3 + B o efeito foi crescente até os 45 DAA (81,07 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) e 30 DAA (94,38 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), respectivamente (Figura 2), e para o Sulfometuron metil + B houve incremento até os 20 DAA (95,40 μg de glicose g^{-1} matéria fresca). Para o tratamento com Glifosate e Sulfometuron metil o efeito foi inverso, isto é, a resposta foi decrescente até os 24 DAA (44,11 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) e 20 DAA (39,79 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), respectivamente, enquanto para o KNO_3 o nível enzimático foi decrescente até os 13 DAA (38,57 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) e posterior aumento até os 50 DAA (81,99 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) (Figura 2). Para a maturação natural e a aplicação de boro a atividade da enzima SAI foi decrescente até

os 29 DAA (38,89 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) e 30 DAA (37,78 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) respectivamente (Figura 2).

Com relação à enzima NI, na safra 2007, a aplicação dos maturadores Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil associados ao boro induziram aumento da atividade até os 30 DAA (71,20 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 30 DAA (74,11 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) e 17 DAA (71,75 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), respectivamente. A aplicação isolada desses maturadores acarretou em decréscimo nos níveis enzimáticos até os 20 DAA, cujos valores calculados foram 24,37, 31,97 e 31,05 μg de glicose g^{-1} matéria fresca, respectivamente, com posterior incremento até os 50 DAA para o Glifosate e KNO_3 (54,74 e 63,17 μg de glicose g^{-1} matéria fresca, respectivamente) e até os 35 DAA (60,18 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) para o Sulfometuron metil, sendo determinado para a maturação natural atividade decrescente até os 30 DAA (31,43 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) (Figura 2).

O aumento na atividade da SAI na safra 2007 (Figura 2) reflete a necessidade da planta quanto à presença de açúcares, glicose e frutose, para a manutenção do metabolismo, corroborando com VIEIRA et al. (1996b), os quais encontraram nos colmos da cana-de-açúcar cultivar CB41-76 níveis elevados da SAI em relação à NI, sugerindo a atuação dessa enzima na regulação do crescimento de tecidos imaturos. Por outro lado, pesquisas determinaram elevados níveis da NI em relação à SAI em colmos de diferentes variedades de cana-de-açúcar, além da tendência de declínio da atividade da SAI com o início do período de repouso fisiológico, e tal relação pode estar estreitamente ligada à capacidade de acumular sacarose (HATCH & GLASZIOU, 1963; RICARDO & SOVIA, 1974; VIEIRA et al., 1996a).

Na safra 2008, independente do tratamento, houve decréscimos significativos nos níveis enzimáticos da SAI, enquanto para os níveis de NI o efeito foi inverso, sendo determinado comportamento linear com o transcorrer das épocas de amostragem (Figura 3). Com relação à atividade da SAI, os efeitos foram quadráticos com decréscimo até os 35 DAA (42,97 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 36 DAA (46,36 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 33 DAA (46,03 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 29 DAA (54,19 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 33 DAA (43,70 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 37 DAA (60,16 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 34 DAA (54,35 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) e 31 DAA (45,70 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), respectivamente, para os tratamentos

testemunha, boro, Glifosate, Glifosate + B, KNO_3 , KNO_3 + B, Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + B (Figura 3).

É importante ressaltar que os níveis enzimáticos da SAI e NI determinados na safra 2008 foram superiores aos obtidos na safra 2007, assim, embora os tratamentos tenham sido ajustados a modelos quadráticos decrescentes, é possível afirmar a importância de tal enzima na regulação do crescimento de tecidos imaturos, haja vista que os tratamentos não foram eficientes em retardar o processo de crescimento em altura das plantas na safra 2008 (Tabela 1).

Segundo LINGLE (1999), nos tecidos maduros do colmo, onde os processos de crescimento estão praticamente finalizados, ocorre declínio da concentração da SAI e, então, a invertase neutra (NI) torna-se predominante, situando-se, aparentemente, no citoplasma. Essa enzima, com o baixo nível da SAI, governa o acúmulo ativo de sacarose no vacúolo. Posteriormente, nos tecidos com maior maturidade, que apresentam teores de sacarose em torno de 15 a 20 %, há armazenamento de sacarose nos espaços intercelulares. Da mesma forma, outras pesquisas têm evidenciado que a expansão celular dos tecidos imaturos requer hexoses como fonte de energia e carbono e depende da direção da força de alongamento celular, consequência da manutenção da pressão osmótica celular e do aumento da extensibilidade da parede celular, enfatizando a atuação da SAI em tal processo (GAYLER & GLASZIOU, 1972; GIBEAUT et al., 1990).

Os resultados contidos na Figura 3 permitem inferir, ainda, que com o transcorrer do tempo após a aplicação dos maturadores, a planta de cana-de-açúcar é capaz de retomar a taxa de crescimento natural, com maior ou menor intensidade, conforme as condições climáticas aliado à diminuição do efeito dos compostos químicos, de modo que para a manutenção do metabolismo, a planta demanda maiores quantidades de açúcares redutores, glicose e frutose, elevando a atividade da SAI (VIEIRA et al., 1996a, 1996b; LEITE, 2005; LEITE et al., 2009a).

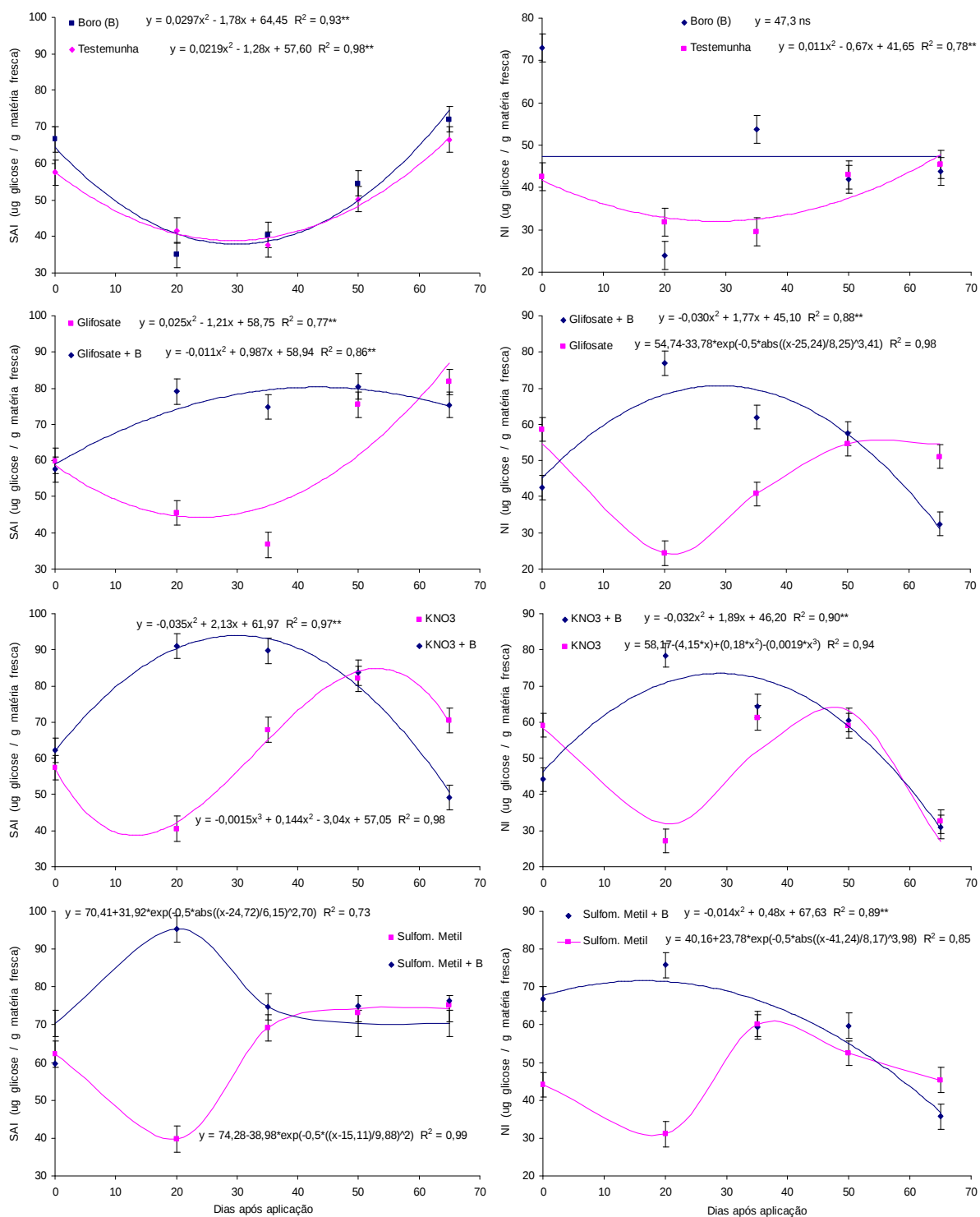


Figura 2. Atividade das enzimas invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarapu do Tietê (SP), safra 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.

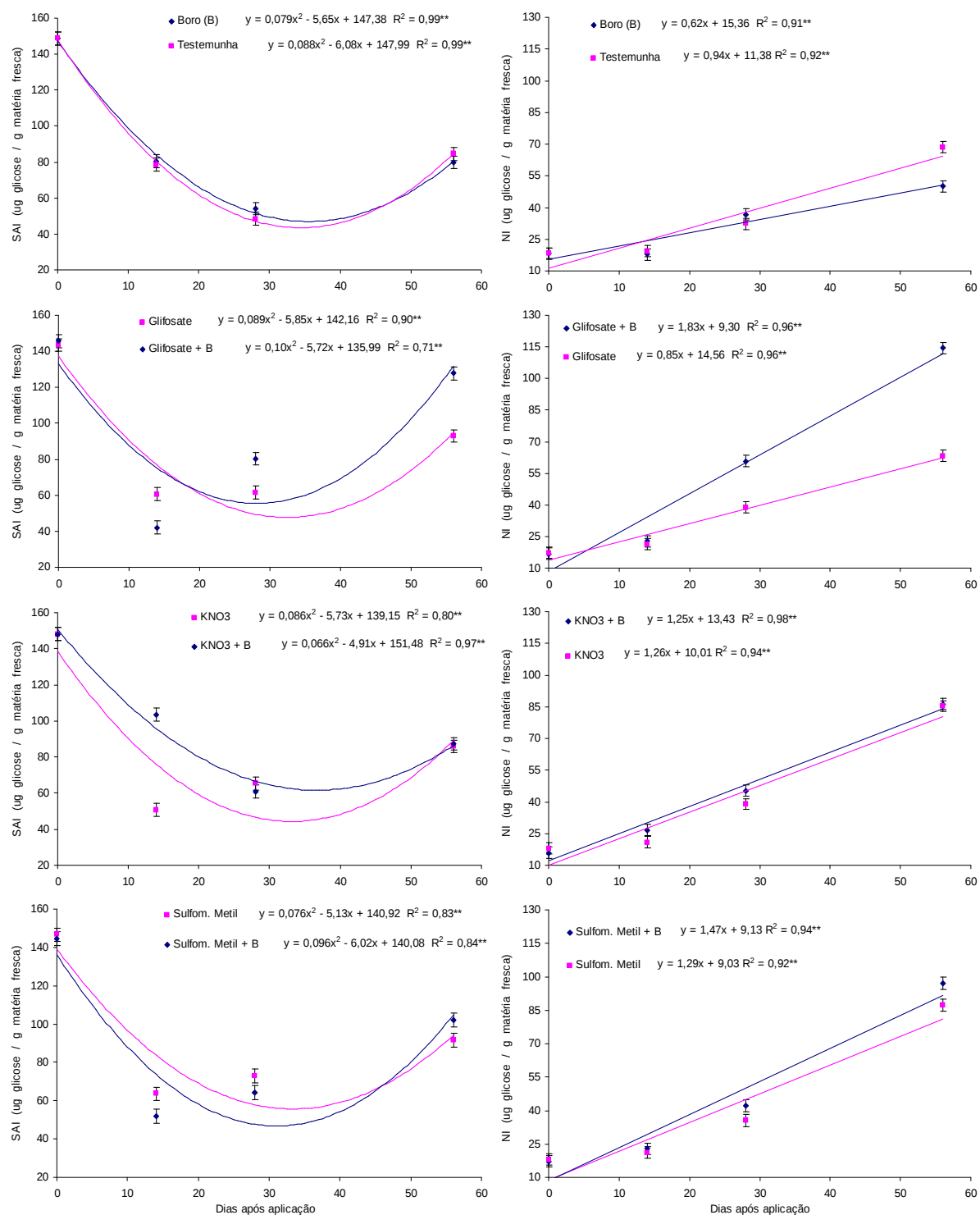


Figura 3. Atividade das enzimas invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarapu do Tietê (SP), safra 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.

6.1.1.2 Teor de boro nas folhas da cana-de-açúcar

Na Figura 4 estão contidos os resultados referentes à determinação do micronutriente nas folhas da cana-de-açúcar (folha +3). Na instalação do experimento não houve diferença significativa entre os tratamentos, contudo, a aplicação do micronutriente, isolado ou associado aos maturadores, ocasionou aumento no teor de boro nas folhas, cujos valores foram estatisticamente superiores em comparação aos tratamentos caracterizados pela ausência do uso do micronutriente.

Na safra 2007 e 2008 a aplicação do micronutriente, isolado e associado aos maturadores, proporcionou incremento nos teores do elemento, apresentando resposta expressa por modelo quadrático positivo. Na safra 2007 os tratamentos induziram aumento e posterior diminuição do teor de boro nas folhas, tendo se obtido os máximos valores calculados aos 23 DAA (21,65 mg kg⁻¹ de matéria seca), 22 DAA (20,84 mg kg⁻¹ de matéria seca), 21 DAA (14,48 mg kg⁻¹ de matéria seca) e 21 DAA (17,40 mg kg⁻¹ de matéria seca) para os tratamentos Boro, Glifosate + B, Sulfometuron metil + B e KNO₃ + B, respectivamente, enquanto na safra subsequente tais valores foram obtidos aos 22 DAA (12,83 mg kg⁻¹ de matéria seca), 20 DAA (11,99 mg kg⁻¹ de matéria seca), 22 DAA (11,63 mg kg⁻¹ de matéria seca) e 22 DAA (11,30 mg kg⁻¹ de matéria seca) por meio da aplicação de Boro, Glifosate + B, KNO₃ + B e Sulfometuron metil + B, respectivamente (Figura 4).

O teor foliar de boro nas folhas das plantas controle (maturação natural) e das plantas tratadas somente com os agentes químicos Glifosate, KNO₃ e Sulfometuron metil não foram alterados em ambas as safras.

Na comparação dos resultados contidos na Figura 4 com os teores foliares encontrados na literatura, para a cultura da cana-de-açúcar, é possível constatar que, independente da safra, os teores estavam abaixo e/ou próximos do nível crítico e adequado para a cultura, ou seja, 10 a 30 mg kg⁻¹ segundo RAIJ et al. (1996). Por outro lado, a aplicação foliar do micronutriente, isolado ou associado aos diferentes produtos químicos, mostrou-se significativamente eficiente em elevar os teores do elemento (Figura 4).

Há uma crença generalizada, baseada na literatura mais antiga, de que o B é imóvel no floema para a maioria das espécies de plantas (OERTLI & RICHARDSON, 1970), todavia tem sido reconhecido que o B é móvel, em variados graus, no floema de várias

espécies de plantas, incluindo uma grande gama de culturas agrícolas e olerícolas, nas quais os álcoois de açúcar e os polióis (sorbitol, manitol e dulcitol) são as principais formas de exportação de carbono das folhas. O B é ligado e transportado na forma de complexos poliál-B (BROWN & SHELPS, 1997). Os itóis são considerados compostos de estoque formados durante o processo fotossintético e transportados pelo floema em plantas superiores, sendo utilizados na nutrição heterotrófica e na osmorregulação (LOESCHER et al., 1995). Os polióis ou álcoois polihidroxílicos são provavelmente encontrados em todas as espécies vegetais, sendo que o manitol, sorbitol e dulcitol são polióis correspondentes às hexoses manose, frutose e galactose, respectivamente (MARSCHNER, 1995). Todavia a glicose, a frutose e a galactose, bem como seus derivados (por exemplo, a sacarose), não têm esta configuração cis-diol e, assim, não formam complexos boratos estáveis. No entanto, alguns o-difenólicos, como o ácido caféico e o ácido hidroxiferúlico, os quais são importantes precursores da biossíntese da lignina, possuem a configuração cis-diol e, conseqüentemente, formam complexos boratos estáveis (MARSCHNER, 1995).

Todavia, GOOR & LUNE (1980) e SHU et al. (1994) ressaltam que a absorção de B, aplicado via foliar, pode ser influenciada por diferentes fatores, dentre os quais a espécie vegetal, concentração da solução de aplicação, a permeabilidade da cutícula foliar, a umidade relativa do ar, a idade da folha utilizada na aplicação e o número de vezes que a aplicação foi realizada, sucessivamente.

Para FLEMING (1980), a disponibilidade de B geralmente diminui em solos secos, tornando a deficiência de B mais freqüente. Isso pode ser devido às plantas encontrarem quantidade reduzida de B disponível quando extraem água de profundidades maiores durante os períodos de seca. COSTA & OLIVEIRA (2001) concordam que os sintomas de deficiência de B são mais severos sob condições de estresse hídrico, mas atribuem isso à diminuição da decomposição da matéria orgânica (uma importante fonte de B) e ao menor desenvolvimento do sistema radicular, que, explorando menor volume de solo, absorve menos B. Tais afirmações podem explicar os resultados obtidos quanto ao teor do nutriente determinado nas folhas da cana-de-açúcar nos tratamentos caracterizados pela ausência da aplicação do micronutriente (Figura 4).

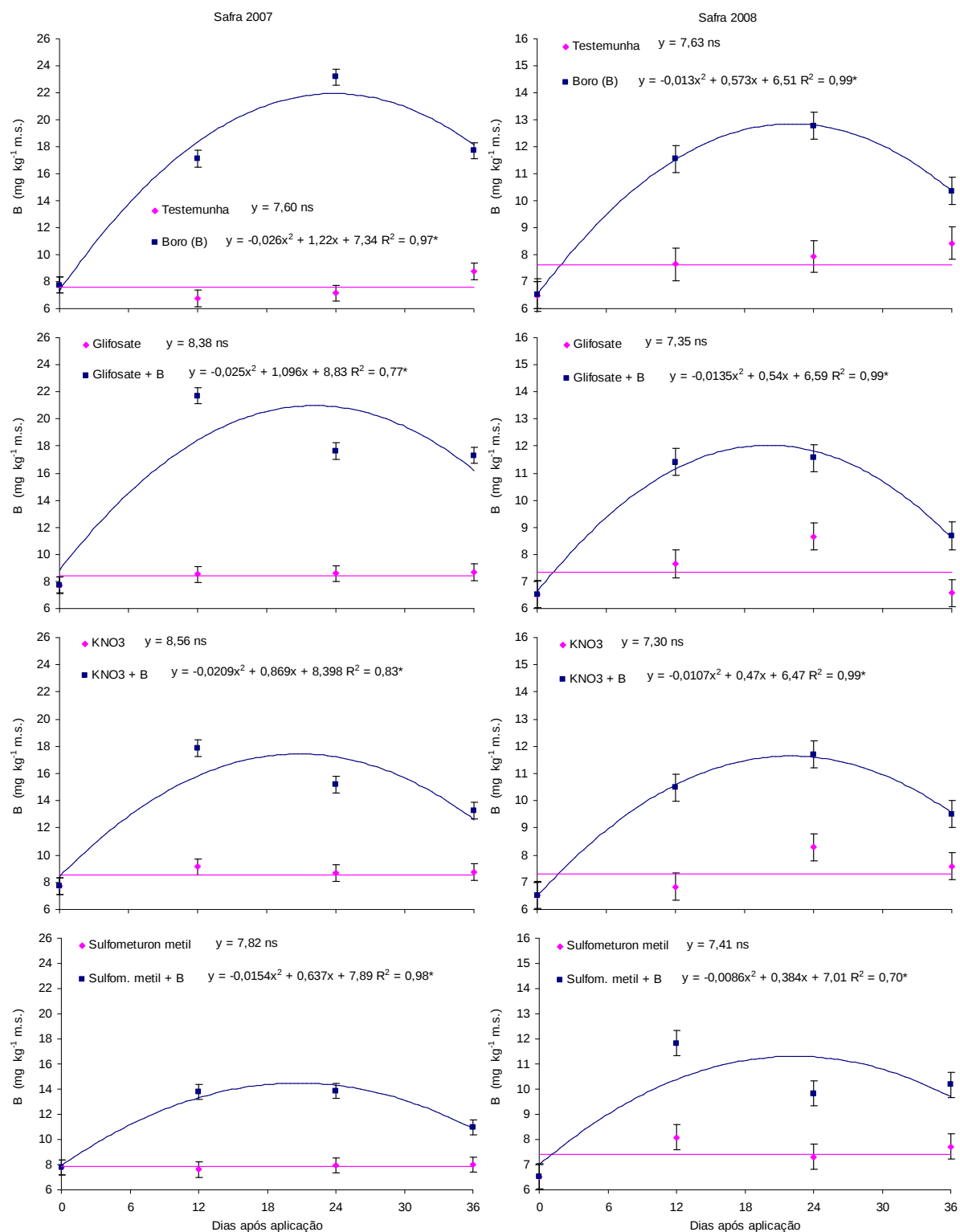


Figura 4. Teor de boro em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarçu do Tietê (SP), safras 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

6.1.1.3 Altura das plantas e diâmetro dos colmos

Os valores da altura das plantas e do diâmetro dos colmos para as duas safras de condução do experimento estão contidos na Tabela 1. Na safra 2007, comparando as duas épocas de avaliação, constata-se que a aplicação de Sulfometuron metil, Sulfometuron metil + B e Glifosate + B inibiu o crescimento das plantas, não ocorrendo tal fato na safra 2008, ou seja, nenhum tratamento foi capaz de interromper o crescimento das plantas em altura.

Analisando os tratamentos dentro de cada época de avaliação, em 2007, não houve diferença entre os mesmos no momento de instalação do experimento (0 DAA). Contudo, aos 65 DAA, os tratamentos que proporcionaram menor crescimento das plantas em altura foram o Sulfometuron metil, Sulfometuron metil + B e Glifosate + B, enquanto os que proporcionaram maior desenvolvimento das plantas foram a testemunha e a aplicação isolada do micronutriente. Na safra 2008, aos 56 DAA, Glifosate, Glifosate + B, Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + B foram os tratamentos que proporcionaram o menor crescimento em altura das plantas, enquanto que a testemunha e a aplicação isolada de boro e KNO_3 proporcionaram os maiores valores (Tabela 1).

Com relação ao diâmetro dos colmos aos 65 DAA na safra 2007, determinou-se para o tratamento Sulfometuron metil valores significativamente superiores em relação ao KNO_3 , sendo observado na comparação entre épocas que somente as plantas tratadas com Glifosate e KNO_3 não apresentaram alterações no diâmetro (Tabela 1). Por outro lado, aos 56 DAA na safra 2008, inclusive na comparação entre a instalação (0DAA) e a colheita do experimento (56 DAA), os tratamentos não afetaram tal parâmetro (Tabela 1).

Os resultados obtidos corroboram em parte com os obtidos por LEITE & CRUSCIOL (2008) e ROMERO et al. (1998b), os quais relataram a paralisação temporária do desenvolvimento vegetativo com redução severa na altura das plantas de cana-de-açúcar, sem interferir no diâmetro dos colmos quanto às plantas tratadas com os agentes químicos Glifosato e Sulfometuron metil. Provavelmente tal comportamento ocorreu pelo menor alongamento dos entrenós imaturos, uma vez que esses maturadores podem ocasionar a morte da gema apical, em razão de seu acúmulo nas regiões de crescimento ativo (meristemas).

O glifosato inibe a atividade da enzima EPSPS (5-nolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase) e evita a conversão de chiquimato à corismato e a biossíntese dos aminoácidos fenilalanina, tirosina e triptofano, precursores de compostos secundários, entre eles os hormônios vegetais (RIZZARD et al., 2004). Assim, a biossíntese do ácido indolil acético (AIA) é inibida, uma vez que é sintetizado a partir do triptofano, o qual tem importante função quanto à promoção do alongamento e da divisão celular que se refletem no crescimento em altura das plantas (RODRIGUES & LEITE, 2004).

O sulfometuron metil atua pela inibição não competitiva da enzima ALS (acetolactato sintase) ou AHAS (acetohidroxi sintase), na rota de síntese dos aminoácidos ramificados – valina, leucina e isoleucina –, e interfere na síntese protéica, no balanço hormonal e na síntese de DNA, o que implica a paralisação do crescimento (RIZZARD et al., 2004).

O nitrato de potássio (KNO_3) também tem sido utilizado como agente maturador em cana-de-açúcar, podendo substituir o uso de outros compostos químicos para tal finalidade, principalmente quando houver nas proximidades da cultura da cana-de-açúcar, culturas sensíveis ao modo de ação destes produtos químicos (HARO et al., 2001; LEITE, 2005). Assim, o emprego do KNO_3 tem possibilitado sua atuação como indutor do processo de maturação decorrente da inibição temporária ou redução do ritmo de crescimento vegetativo, uma vez que se caracterizam por ocasionar injúria (ou estresse) química, capaz de estimular a síntese endógena do hormônio vegetal etileno, tendo em vista que a produção deste pela planta é favorecida por diversos fatores, sejam eles bióticos, abióticos ou xenobióticos (RODRIGUES & LEITE, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2004; LEITE, 2005; LEITE et al., 2009c).

Nos vegetais o etileno é sintetizado a partir do aminoácido metionina, tendo como intermediários metabólicos a S-adenosil-metionina (SAM) e o aminociclopropano ácido carboxílico (ACC). O etileno é capaz de promover alterações bioquímicas e morfológicas nos vegetais, isto é, alterações na estrutura de microtúbulos, na orientação de microfibrilas e no metabolismo do DNA, induz o aumento nas quantidades de mRNAs, responsáveis por codificar e ativar enzimas pré-formadas como a celulase, hemicelulase e a poligacturonase, que degradam a parede celular modificando a permeabilidade da membrana e outras enzimas responsáveis pelo metabolismo de compostos fenólicos, como por exemplo a lignina. o aumento da síntese de etileno endógeno motivada pela aplicação de maturadores,

herbicidas ou estresses de qualquer natureza, estimula a atividade da enzima fenilalanina amonioliase (PAL), ocasionando o aumento na produção de compostos fenólicos. Por fim, tais efeitos metabólicos culminam na inibição temporária ou redução do ritmo de crescimento do vegetal por restringir o crescimento em altura dos colmos decorrente do menor alongamento e, possivelmente, o engrossamento dos entrenós (RODRIGUES, 1995; CASTRO et al., 2001; RODRIGUES & LEITE, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2004; LEITE, 2005; LEITE et al., 2009c).

Pelos resultados da Tabela 1, na comparação entre épocas na safra 2008, é possível inferir que os tratamentos, independente do mecanismo de ação, não foram eficientes em interromper o processo de crescimento em altura das plantas, corroborando com os resultados obtidos por SIQUEIRA (2009), porém discordando de LEITE (2005). Tal resultado pode ser explicado pela disponibilidade hídrica (Figura 1) e pelos níveis enzimáticos da SAI (Figura 3) nessa safra, uma vez que se determinou reduzida precipitação pluvial e menor atividade da SAI em relação à safra 2007. Segundo TAIZ & ZEIGER (2004) a expansão foliar e o alongamento celular são processos extremamente sensíveis à situações de déficit hídrico decorrente do decréscimo do volume celular e conseqüente redução da pressão de turgor, a qual afeta diretamente a expansão celular, associado, ainda, à limitação da taxa fotossintética no interior do cloroplasto em resposta ao fechamento estomático.

Segundo diversos autores a água consiste num recurso essencial e limitante para a produtividade agrícola, constituindo o meio onde moléculas movimentam-se dentro de células e entre elas, influenciando a estrutura de proteínas, ácidos nucleicos, polissacarídeos e outros constituintes celulares e, sobretudo, forma o ambiente onde ocorre a maioria das reações bioquímicas celulares, com participação direta em diversas reações químicas essenciais. No complexo fotossintético (fotossistema II) ocorre a oxidação da molécula de água, com a remoção de elétrons, oxigênio e hidrogênio. Os prótons produzidos por este sistema bioquímico são liberados dentro do lume do tilacóide e transferidos para o estroma por translocação pela ATP sintase, contribuindo para o potencial eletro-químico operante na formação do ATP, composto altamente energético utilizado para a formação de açúcares na fase bioquímica da fotossíntese (TAIZ & ZEIGER, 2004; FIGUEIREDO, 2006c; FIGUEIREDO, 2008).

As plantas não deficientes em água aumentam sua taxa fotossintética e o transporte de sacarose e açúcares, direcionando a sacarose para o armazenamento e os

açúcares (glicose e frutose) para a manutenção do metabolismo e crescimento. Por outro lado, plantas sob déficit hídrico mantêm o processo de fotossíntese, embora em taxa reduzida, com a produção de menor quantidade de açúcares, todavia são efetivamente armazenados nos colmos decorrente de sua pequena utilidade fisiológica (ALEXANDER, 1973; RODRIGUES, 1995; TAIZ & ZEIGER, 2004).

De acordo com MARSCHNER (1995) o boro é um elemento essencial para a atividade meristemática da planta, aliado às suas funções na fisiologia vegetal, tais como o transporte de açúcares pela membrana, síntese, integridade e lignificação da parede celular, com significativa influência na expansibilidade das células (GUPTA, 1979). BROWN et al. (1999) confirmaram a translocação de B mediada por sorbitol no floema em plantas de fumo geneticamente modificadas para sintetizar sorbitol, evidenciando aumento na síntese de sorbitol e na mobilidade do B, implicando no crescimento da planta e na produtividade pelo fato de ter auxiliado a superar deficiências transitórias de B no solo. Tais fatos podem explicar os resultados mostrados na Figura 4 e na Tabela 1 referente ao teor do elemento nas folhas da cana-de-açúcar e quanto à mensuração da altura das plantas, respectivamente. GOLDBACH & AMBELEER (1986) enfatizaram que a carência de boro pode ocasionar diversos sintomas, dentre os quais o encurtamento dos internódios, folhas menores e deformadas e a inibição do crescimento em extensão e crescimento apical.

Tabela 1. Altura das plantas e diâmetro dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito de maturadores, associados ou não ao boro, na instalação e na colheita do experimento. Igarapu do Tietê, SP, safras 2007 e 2008.

Tratamentos	Safr 2007		Safr 2008	
	0 DAA ⁽¹⁾	65 DAA ⁽¹⁾	0 DAA ⁽¹⁾	56 DAA ⁽¹⁾
	Altura das plantas (metros)			
Testemunha	2,37 aB	2,78 aA	2,08 aB	2,67 aA
Boro (B)	2,36 aB	2,78 aA	2,01 aB	2,65 aA
Glifosate	2,29 aB	2,51 bcdA	2,05 aB	2,23 dA
KNO ₃	2,30 aB	2,57 bcA	2,03 aB	2,51 abA
Sulfometuron metil	2,35 aA	2,40 cdA	2,04 aB	2,31 cdA
Glifosate + B	2,32 aA	2,40 cdA	2,06 aB	2,29 cdA
KNO ₃ + B	2,26 aB	2,61 bA	2,05 aB	2,46 bcA
Sulfom. Metil + B	2,25 aA	2,35 dA	2,04 aB	2,25 dA
CV (%)	3,24		3,58	
Diâmetro dos colmos (milímetros)				
Testemunha	30,32 aB	31,83 abA	31,51 aA	32,83 aA
Boro (B)	28,99 aB	31,43 abA	30,63 aA	32,13 aA
Glifosate	30,65 aA	31,54 abA	31,76 aA	32,39 aA
KNO ₃	29,97 aA	30,44 bA	30,97 aA	31,48 aA
Sulfometuron metil	29,55 aB	33,10 aA	31,21 aA	31,91 aA
Glifosate + B	29,88 aB	31,99 abA	31,51 aA	32,12 aA
KNO ₃ + B	30,81 aB	32,73 abA	31,21 aA	31,26 aA
Sulfom. Metil + B	30,62 aB	32,42 abA	31,81 aA	32,07 aA
CV (%)	5,13		4,85	

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10 % de probabilidade.

⁽¹⁾ Dias após a aplicação.

6.1.1.4 Parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar referentes ao 1/3 superior e aos 2/3 inferiores (porção mediana e basal) dos colmos

Nas Figuras 5 a 8 encontram-se os resultados obtidos para os parâmetros tecnológicos no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar, sendo possível constatar interação significativa para os tratamentos (testemunha, boro e maturadores, associados ou não ao micronutriente) e épocas de amostragem.

De modo geral, independente da safra, a aplicação isolada do micronutriente em comparação à maturação natural, principalmente com relação ao uso dos maturadores isolados e a associação com o elemento, evidenciou o efeito significativo do boro, embora com magnitude variável, em induzir o acúmulo de sacarose na porção apical dos colmos da cana-de-açúcar, porém, na associação do micronutriente com o KNO_3 não houve efeito (Figura 5).

Os tratamentos elevaram os teores de sacarose no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar com o transcorrer das épocas de amostragem, sendo determinado ajuste linear para a testemunha, Boro, Glifosate + B, KNO_3 e KNO_3 + B na safra 2007 e, na safra 2008 para a maturação natural, Boro, Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil e suas associações com o micronutriente (Figura 5). Por outro lado, em 2007 a aplicação de Glifosate, Sulfometuron metil e sua associação com boro induziram aumento significativo de sacarose com repostas quadrática e crescente até 102 DAA, 108 DAA e 82 DAA, cujos teores calculados foram 10,37 %, 12,42 % e 11,15 %, respectivamente; enquanto na safra subsequente, para o Glifosate combinado ao micronutriente, houve incremento até os 46 DAA (8,92 %) (Figura 5).

Pelos resultados mostrados na Figura 6, 7 e 8 é possível constatar que houve comportamento diferenciado entre os tratamentos com relação aos parâmetros tecnológicos pureza do caldo, açúcares redutores e fibra no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar e, de forma geral, a combinação do micronutriente com os maturadores e sua aplicação isolada em relação à maturação natural, não afetou tais parâmetros.

Para a pureza do caldo, na safra 2007, foi determinado ajuste linear crescente para os tratamentos controle, Boro, Glifosate + B, KNO_3 + B, enquanto na safra posterior tal ajuste ocorreu para a maturação natural, Boro, Glifosate, KNO_3 , KNO_3 + B,

Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + B (Figura 6). Na safra 2007 houve aumentos significativos na pureza do caldo decorrente do uso de Glifosate, KNO_3 , Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + B até os 67 DAA (72,60 %), 87 DAA (72,37 %), 63 DAA (77,82 %) e 65 DAA (78,18 %), respectivamente, enquanto na safra 2008 tal incremento ocorreu até os 66 DAA (75,52 %) para o tratamento Glifosate + B (Figura 6).

Com relação ao teor de açúcares redutores no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar, os tratamentos proporcionaram decréscimos até a colheita, sendo determinado respostas lineares para a aplicação de Boro no primeiro ano de condução do experimento e, no ano subsequente, para a maturação natural, Glifosate e Sulfometuron metil + B (Figura 7). Por outro lado, para os tratamentos Boro, Glifosate, Glifosate + B, KNO_3 e KNO_3 + Boro, Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + B na safra 2007 houve ajuste quadrático, cujo ponto de mínimo calculado ocorreu aos 104 DAA (0,80 %), 69 DAA (0,91 %), 100 DAA (0,81 %), 96 DAA (0,83 %), 100 DAA (0,93 %), 63 DAA (0,80 %) e 63 DAA (0,81 %), respectivamente; enquanto na safra posterior comportamento inverso foi observado, cujo ponto de máximo ocorreu aos 2 DAA para a aplicação de Boro (1,65 %), KNO_3 (1,67 %) e KNO_3 + B (1,60 %), e aos 12 DAA para Sulfometuron metil (1,50 %), com posterior decréscimo (Figura 7).

Na safra 2007, aos 35 DAA, a aplicação de boro combinado Glifosate acarretou em teor de açúcares redutores significativamente superior ao uso isolado do agente químico, enquanto na safra subsequente tal comportamento foi verificado aos 14 DAA na comparação entre o uso do micronutriente e a maturação natural e, aos 28 DAA com relação aos maturadores Glifosate e Sulfometuron metil e as respectivas associações com Boro (Figura 7).

A maturação natural, o Boro, o Sulfometuron metil e sua associação com o micronutriente, quanto ao teor de fibras no terço superior dos colmos no primeiro ano de condução do experimento, foram ajustados à modelos lineares crescentes, sendo determinado para os dois últimos tratamentos diferença significativa aos 20 DAA, cujos valores calculados foram 12,47 % e 12,87 %, respectivamente (Figura 8). Por outro lado, em 2008, na comparação entre o controle, o micronutriente e sua associação com os diferentes agentes químicos, não foram observadas diferenças estatísticas ao longo das épocas de amostragem, sendo os tratamentos testemunha, Boro, Glifosate, KNO_3 e KNO_3 + B ajustados

à modelos lineares crescentes, enquanto para os tratamentos Glifosate + B, Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + B houve aumento até os 53 DAA (14,46 %), 40 DAA (13,37 %) e 52 DAA (13,68 %), respectivamente (Figura 8).

Resultados semelhantes foram obtidos por SIQUEIRA (2009), enfatizando o incremento significativo na pol cana e pureza do caldo no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar, por meio da aplicação isolada ou da mistura de maturadores, com o transcorrer das épocas de amostragem após a adoção dos tratamentos. Outros ensaios têm revelado que a aplicação de Glifosate incrementou o valor da pol no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar, permitindo um desponte mais alto, contribuindo para o aumento da produtividade de cana sem comprometer a qualidade tecnológica da matéria-prima fornecida à indústria (ROMERO et al., 1996; ROMERO et al., 1998; ROMERO et al., 2000). Também FERNANDES et al. (2002), LEITE (2005) e LEITE et al. (2009a, 2009c) enfatizaram valores de pureza do caldo significativamente superiores à testemunha (maturação natural) através da aplicação dos agentes químicos Sulfometuron metil e Glifosate.

Níveis decrescentes de açúcares redutores nos colmos da cana-de-açúcar decorrentes do uso dos agentes químicos Sulfometuron metil e Glifosate, inclusive associados ao processo de maturação natural foram descritos em diversos trabalhos de pesquisas (ROMERO et al., 2000; CASTRO et al., 2002; FERNANDES et al., 2002; CAPUTO et al., 2008; LEITE, 2005; LEITE et al., 2008; LEITE et al., 2009a, c; SIQUEIRA, 2009), concordando com os dados obtidos nos experimentos realizados.

Segundo BARBOSA et al. (2007) existe uma correlação negativa entre o teor de fibras e o teor de açúcar, principalmente em variedades precoces, as quais são mais ricas em sacarose e, apresentam, em geral, teor de fibra menor, de modo que, no que tange à quantidade ideal de fibras, a mesma deve encontrar-se entre 12 a 13 %, a fim de que não se comprometa a quantidade disponível de bagaço para queima no início da safra.

Os resultados obtidos neste ensaio quanto ao teor de fibras no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar foram descritos também por outros autores, os quais determinaram aumento no teor de fibras decorrente da aplicação de maturadores (CASTRO et al., 2001; VIANA et al., 2008; LEITE, 2005; LEITE et al., 2009b; SIQUEIRA, 2009), porém GALDIANO (2008), LEITE et al. (2009c) e CASTRO et al. (2002) não observaram alterações significativas no teor de fibras mediante aplicação destes agentes químicos.

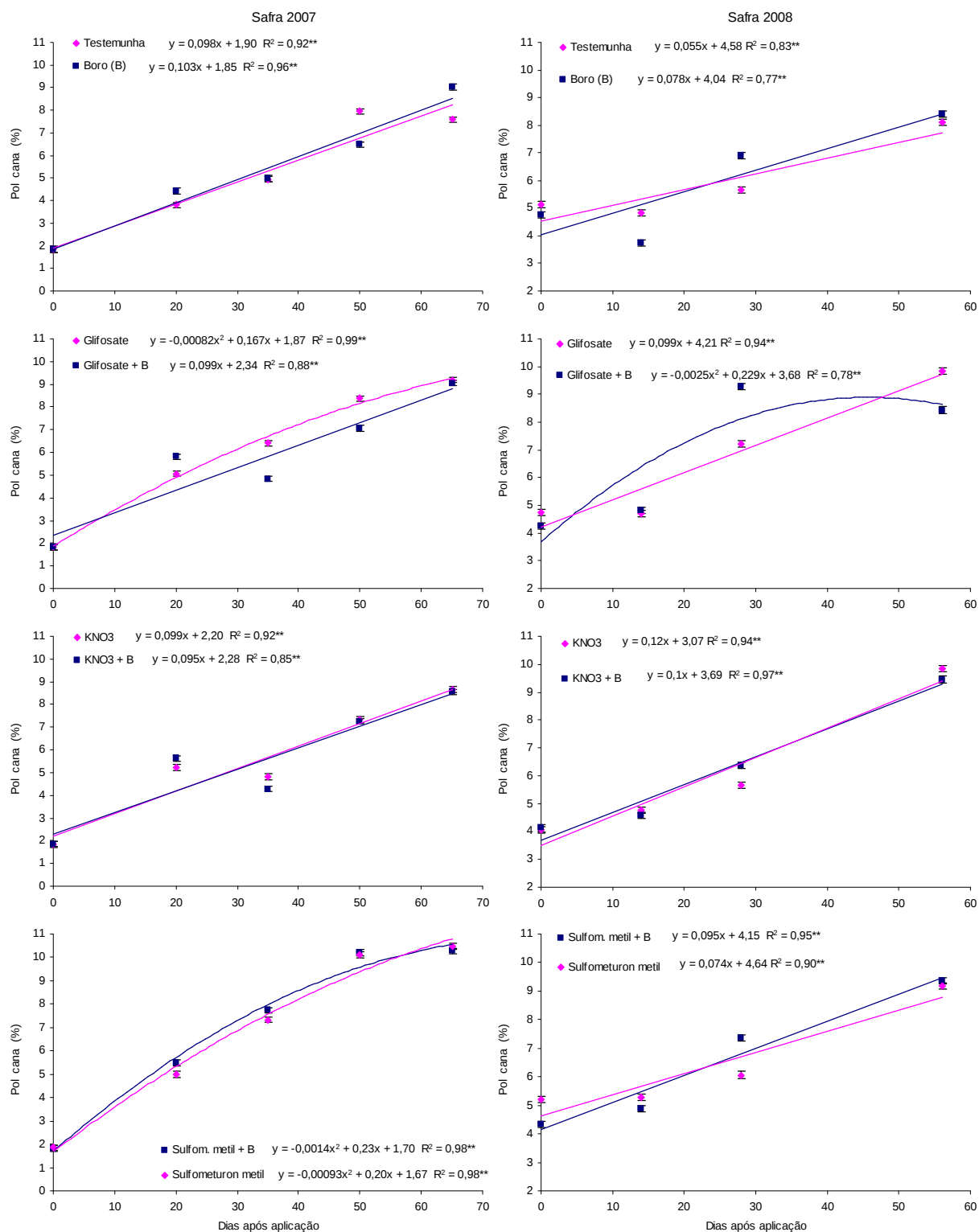


Figura 5. Pol cana (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarçu do Tietê (SP), safras 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

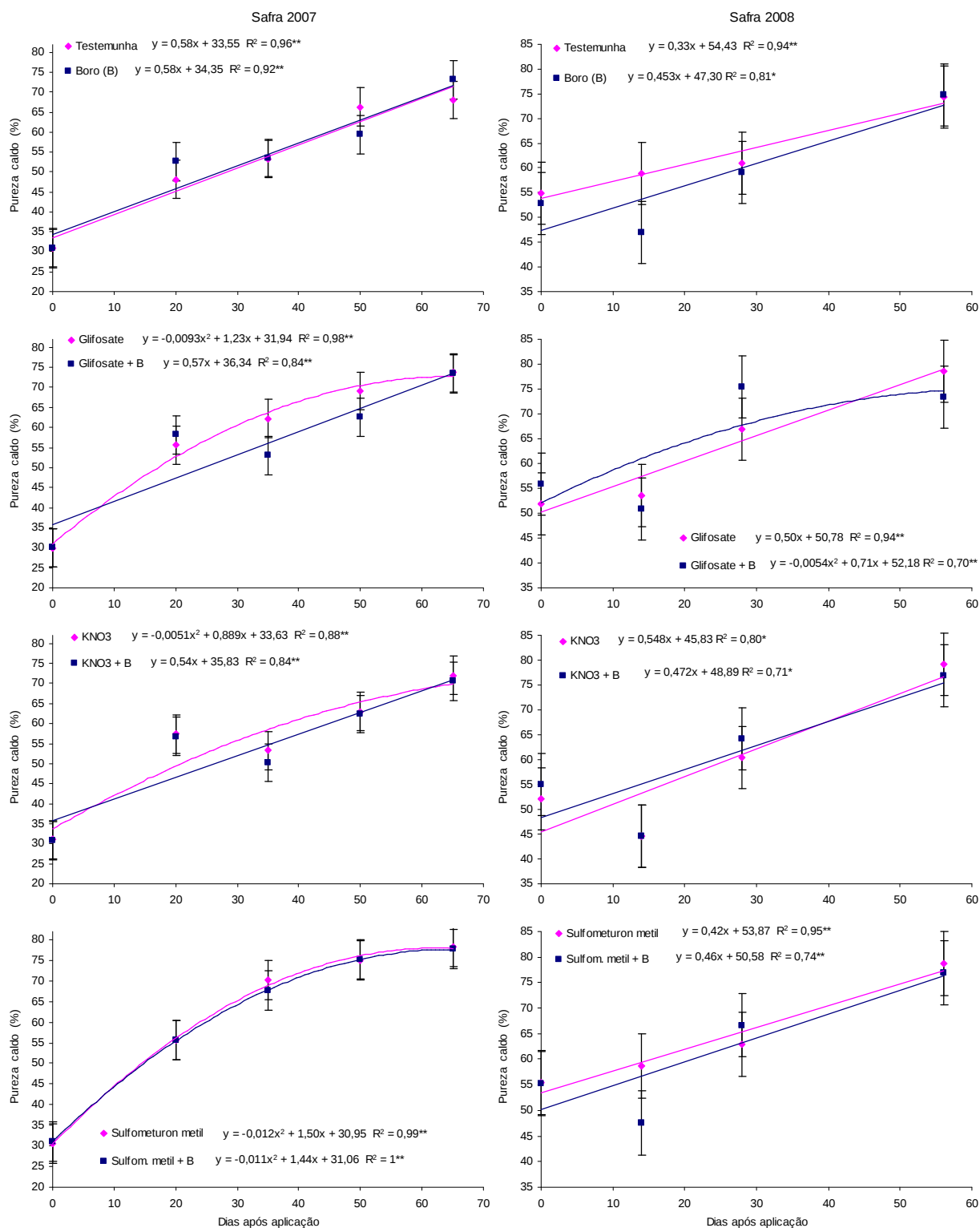


Figura 6. Pureza do caldo (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarçu do Tietê (SP), safras 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

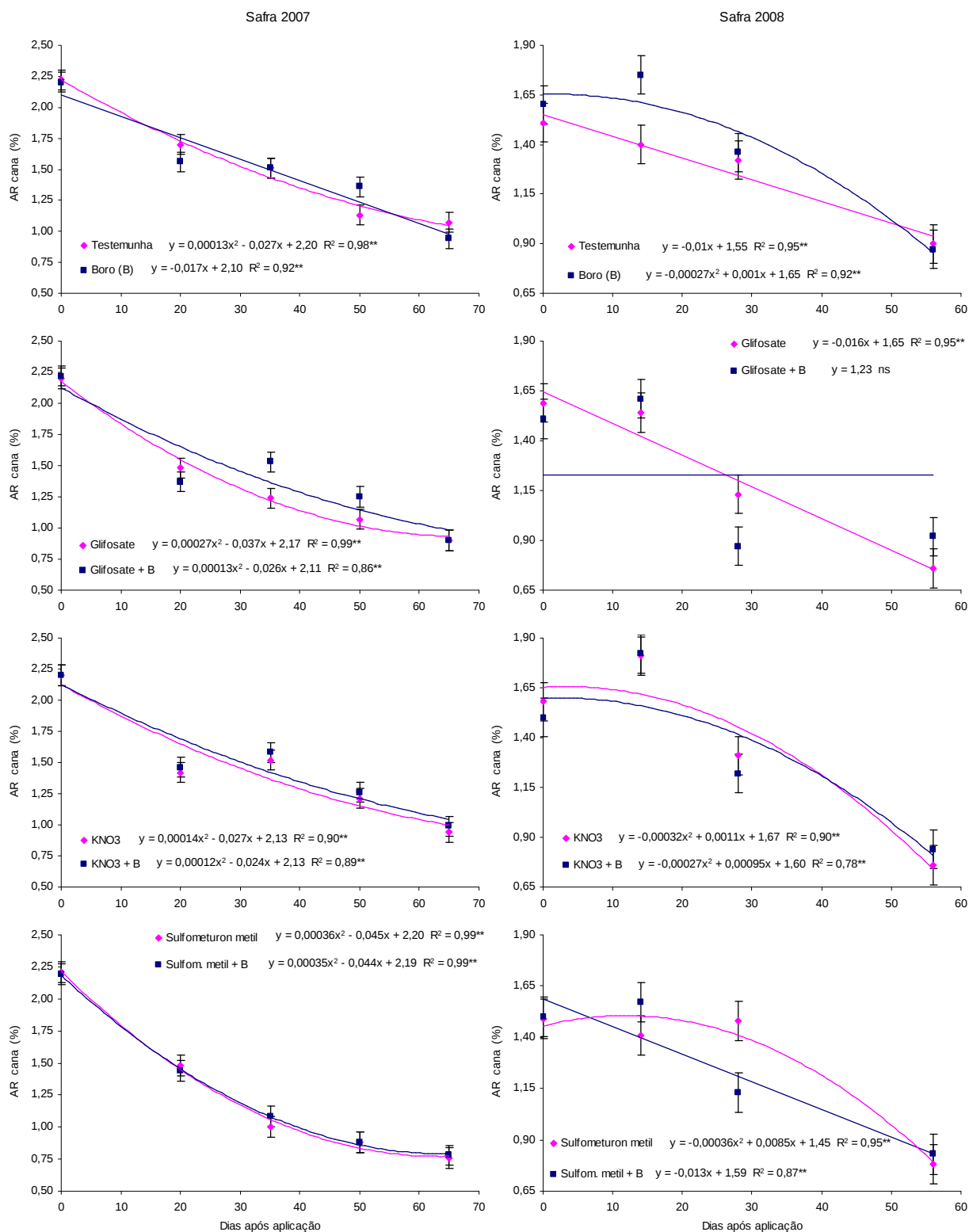


Figura 7. Açúcares redutores (AR cana, %) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarapu do Tietê (SP), safras 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

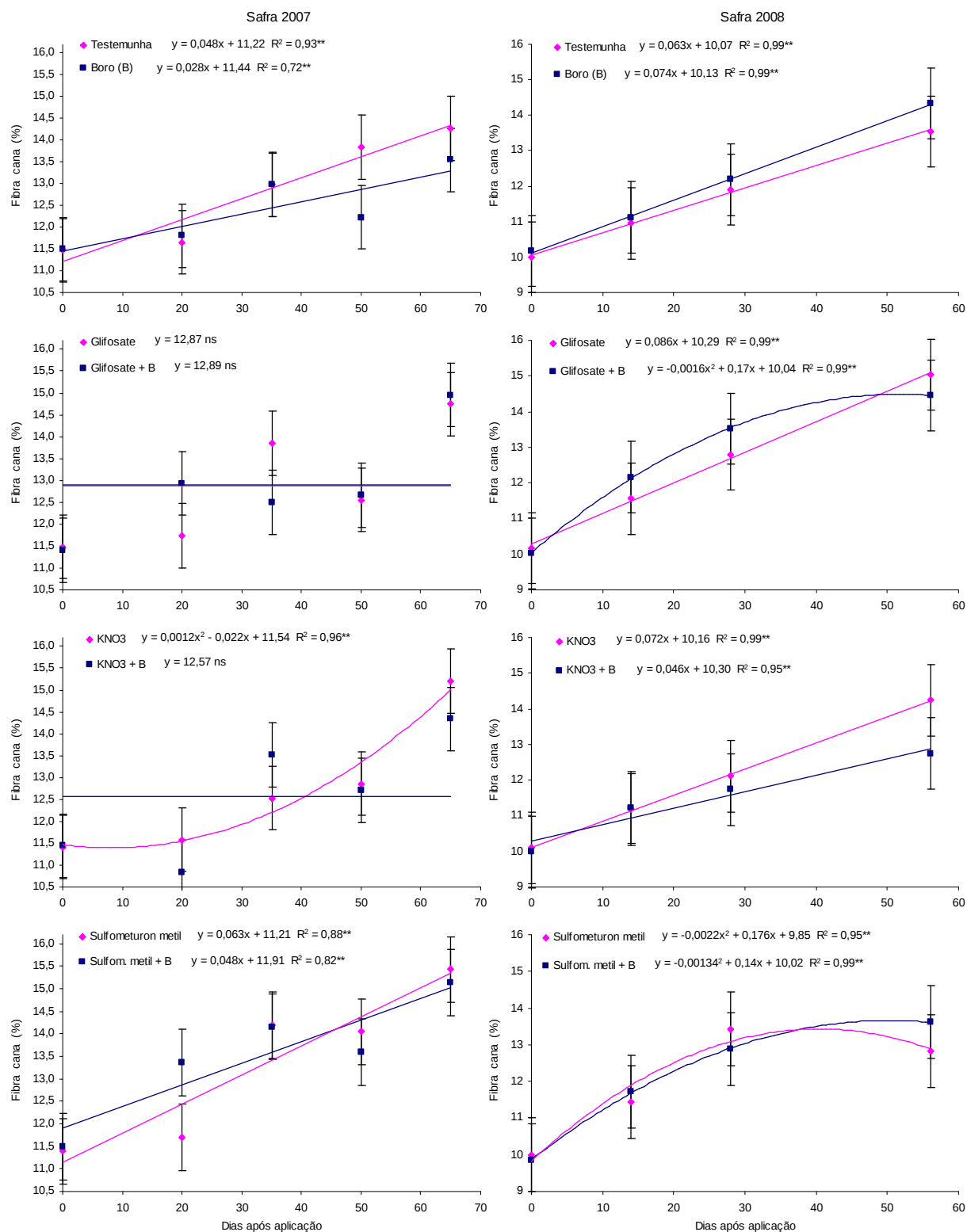


Figura 8. Fibra cana (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarau do Tietê (SP), safras 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

Na Figura 9 encontram-se os resultados obtidos para o parâmetro tecnológico pol cana nos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar, sendo possível constatar interação significativa para os tratamentos (testemunha, boro e maturadores, associados ou não ao micronutriente) e épocas de amostragem, sendo determinadas respostas distintas para os tratamentos, isto é, lineares crescentes na safra 2007 para o controle, Boro, Glifosate, Glifosate + B, KNO_3 , KNO_3 + B e Sulfometuron metil e, quadrática positiva para o Sulfometuron metil + B, enquanto na safra 2008 os tratamentos Boro, Glifosate, KNO_3 , KNO_3 + B e Sulfometuron metil apresentaram respostas lineares crescentes e para os tratamentos controle, Glifosate + B e Sulfometuron metil + B houve resposta quadrática positiva.

No primeiro ano de condução do experimento a aplicação de Boro em relação à maturação natural incrementou de forma significativa o teor de sacarose na porção basal e mediana dos colmos aos 20 DAA, 50 DAA e 65 DAA, cujos valores calculados foram 13,67 %, 15,92 %, 17,03 % para o Boro e 13,70 %, 15,59 %, 16,55 % para a testemunha, respectivamente. Por outro lado, a associação do boro com os agentes químicos Glifosate e KNO_3 pouco afetou a pol cana, sendo determinada diferença significativa entre os tratamentos Glifosate e Glifosate + B aos 50 DAA (16,10 % e 16,20 %, respectivamente) e aos 35 DAA para os tratamentos KNO_3 e KNO_3 + B (14,76 % e 14,85 %, respectivamente), enquanto aos 35 DAA o teor de sacarose determinado para o tratamento Sulfometuron metil + B superou o uso isolado do maturador (15,52 % e 15,16 %, respectivamente), verificando-se efeito inverso aos 65 DAA, determinando-se valores de pol cana de 17,08 % e 17,92 %, respectivamente (Figura 9).

No segundo ano de condução do experimento, através da comparação entre a aplicação isolada do micronutriente com o processo de maturação natural, assim como a aplicação do agente químico KNO_3 e sua associação com o boro, constatou-se que tais tratamentos não favoreceram o processo de acúmulo de sacarose na porção basal e mediana dos colmos da cana-de-açúcar, determinando-se valores de pol cana para a testemunha significativamente superiores em relação ao micronutriente aos 14 DAA (14,32 % e 13,65 %, respectivamente) e 28 DAA (15,20 % e 14,44 %, respectivamente), com efeito inverso na colheita (65 DAA), cujos valores calculados foram 16,00 % e 15,45 %. Por outro lado, a associação do micronutriente com os maturadores Glifosate e Sulfometuron metil proporcionou incremento no teor de sacarose até os 39 DAA (15,79 %) e 41 DAA (15,85 %),

respectivamente, sendo determinados valores de pol cana superiores ao uso isolado do maturador aos 28 DAA, cujos valores calculados foram 15,57 % e 14,53 % para os tratamentos Glifosate + B e Glifosate, respectivamente, e 15,55 % e 14,76 % para os tratamentos Sulfometuron metil + B e Sulfometuron metil, respectivamente, com efeito inverso aos 65 DAA, ou seja, 15,88 % e 14,87 % para os tratamentos Glifosate e Glifosate + B, respectivamente, e 16,30 % e 15,39 % para os tratamentos Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + B, respectivamente (Figura 9).

Para os demais parâmetros tecnológicos determinados na porção basal e mediana dos colmos, isto é, pureza do caldo, açúcares redutores cana e fibra cana, pelo desdobramento dos tratamentos dentro de cada nível de amostragem (DAA), é possível constatar que o uso do micronutriente, isolado ou combinado aos maturadores, não diferiu dos demais tratamentos (Figuras 10 a 12).

Com relação à pureza do caldo na safra 2007 os tratamentos revelaram tendência linear crescente com o transcorrer das épocas de amostragem, enquanto na safra 2008 foram ajustados à modelos quadráticos com máximo valor aos 33 DAA e 36 DAA para o controle (89,60 %) e Boro (90,48 %), respectivamente, aos 36 DAA e 32 DAA para o Glifosate (89,67 %) e Glifosate + B (89,02 %), respectivamente, aos 36 DAA e 39 DAA para o KNO_3 (89,92 %) e KNO_3 + B (89,12 %), respectivamente, aos 35 DAA e 33 DAA para o Sulfometuron metil (89,53 %) e Sulfometuron metil + B (89,86 %) (Figura 10).

Os teores de glicose e frutose (AR cana) são mostrados na Figura 11, determinando-se tendência inversa ao constatado para o parâmetro pureza do caldo, ou seja, linear decrescente na safra 2007. Na safra subsequente os dados de açúcares redutores foram ajustados a função quadrática com redução até os 34 DAA e 35 DAA para a maturação natural e Boro (0,48 % e 0,47 %, respectivamente), aos 36 DAA e 32 DAA para o Glifosate e Glifosate + B (0,47 % e 0,51 %, respectivamente), aos 39 DAA e 35 DAA para o KNO_3 e KNO_3 + B (0,49 % e 0,48 %, respectivamente) e aos 35 DAA e 33 DAA para o Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + B (0,48 % e 0,46 %, respectivamente), com posterior incremento (Figura 11).

Os dados referentes aos teores de fibra da cana-de-açúcar na porção basal e mediana dos colmos da cana-de-açúcar estão contidos na Figura 12, sendo possível afirmar que, de modo geral, os tratamentos pouco influenciaram tal parâmetro. Na safra 2007

a maturação natural revelou decréscimo nos valores de fibra até os 37 DAA, cujo valor calculado foi de 11,12 %, com posterior aumento até a colheita do experimento; enquanto na safra 2008 os tratamentos Boro, Glifosate, Glifosate + B, KNO_3 e Sulfometuron metil + B foram ajustados à modelos quadráticos, com máximo teor aos 29 DAA, 33 DAA, 41 DAA, 30 DAA e 35 DAA, cujos valores calculados foram, respectivamente, 12,04 %, 11,60 %, 11,91 %, 11,73 % e 11,84 %, com posterior decréscimo (Figura 12).

Resultados semelhantes quanto aos parâmetros tecnológicos nos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar (pol cana, pureza do caldo, açúcares redutores e fibra cana) pela aplicação isolada ou pela mistura de maturadores com mecanismos de ação diferenciados (Glifosate, Sulfometuron metil, Etil-trinexapax, Etefon, KNO_3) e em variedades distintas de cana-de-açúcar foram obtidos por outros autores (VILLEGAS & TORRES, 1993; FERNANDES et al., 2002; LEITE, 2005; GALDIANO, 2008; SIQUEIRA, 2009). Segundo ROMERO et al. (2003), a aplicação de Glifosate induz ao aumento significativo do conteúdo de sacarose em todas as seções do colmo da cana-de-açúcar, com máximo incremento relativo na porção apical.

Diversos trabalhos têm enfatizado a essencialidade do boro na germinação dos grãos de pólen e no crescimento do tubo polínico, assim como no metabolismo fenólico e protéico, na integridade e funcionamento das membranas celulares. Desempenha também, importante papel na migração e metabolismo de carboidratos, facilitando o transporte dos açúcares através das membranas, na forma do complexo açúcar-borato (MALAVOLTA, 1980; MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA et al., 1997), de forma que, aliado ao mecanismo de ação dos produtos químicos, podem explicar a melhoria na qualidade tecnológica dos colmos da cana-de-açúcar determinadas no 1/3 superior e nos 2/3 inferiores (porção mediana e basal) conforme revelam os dados mostrados nas Figuras 5, 6, 9 e 10. Além do que, comprovadamente, a deficiência de boro é acompanhada pela produção de calose, obstruindo os tubos crivados, com conseqüente efeito adverso no transporte da seiva elaborada (MALAVOLTA et al., 1997).

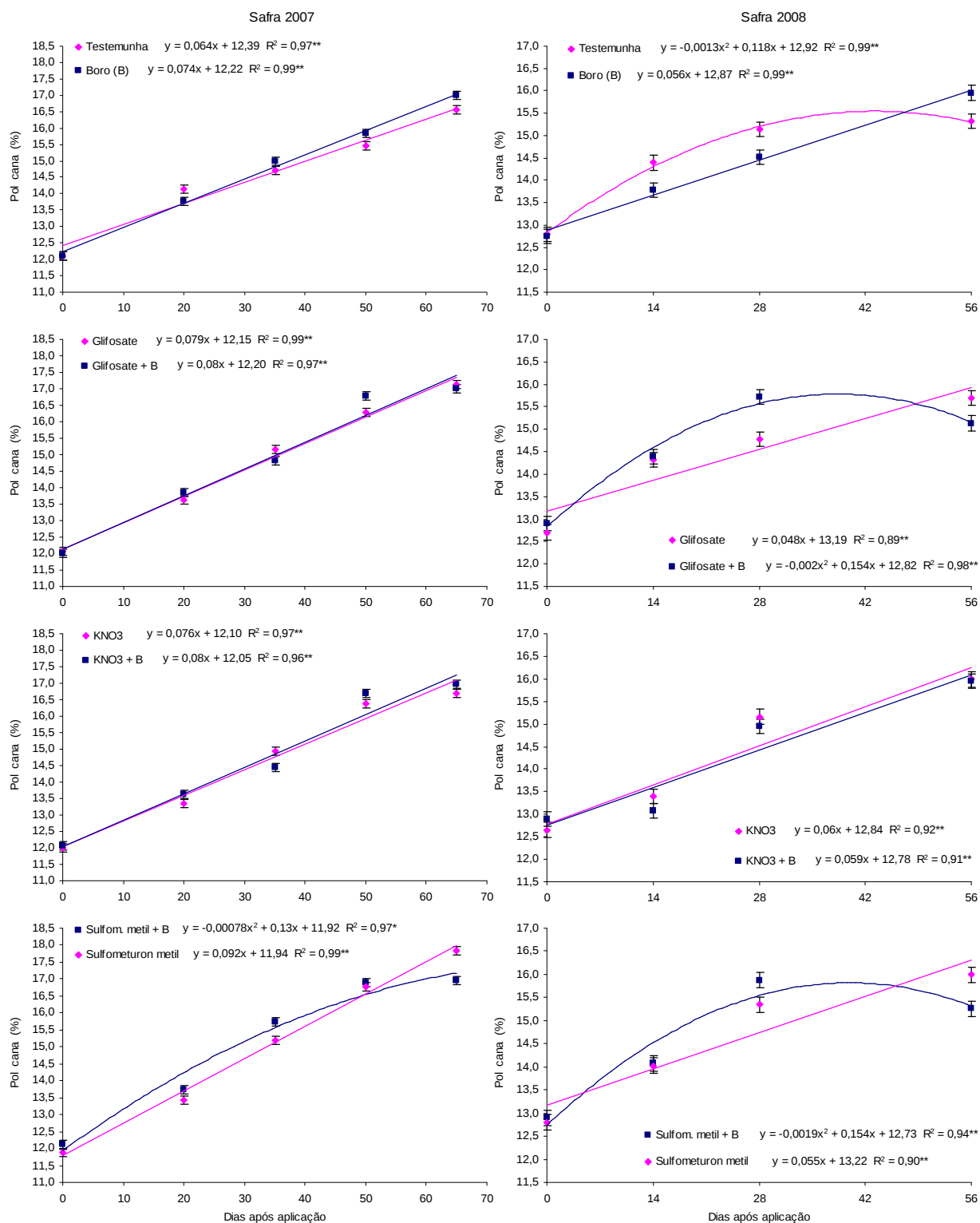


Figura 9. Pol cana (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarçu do Tietê (SP), safras 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

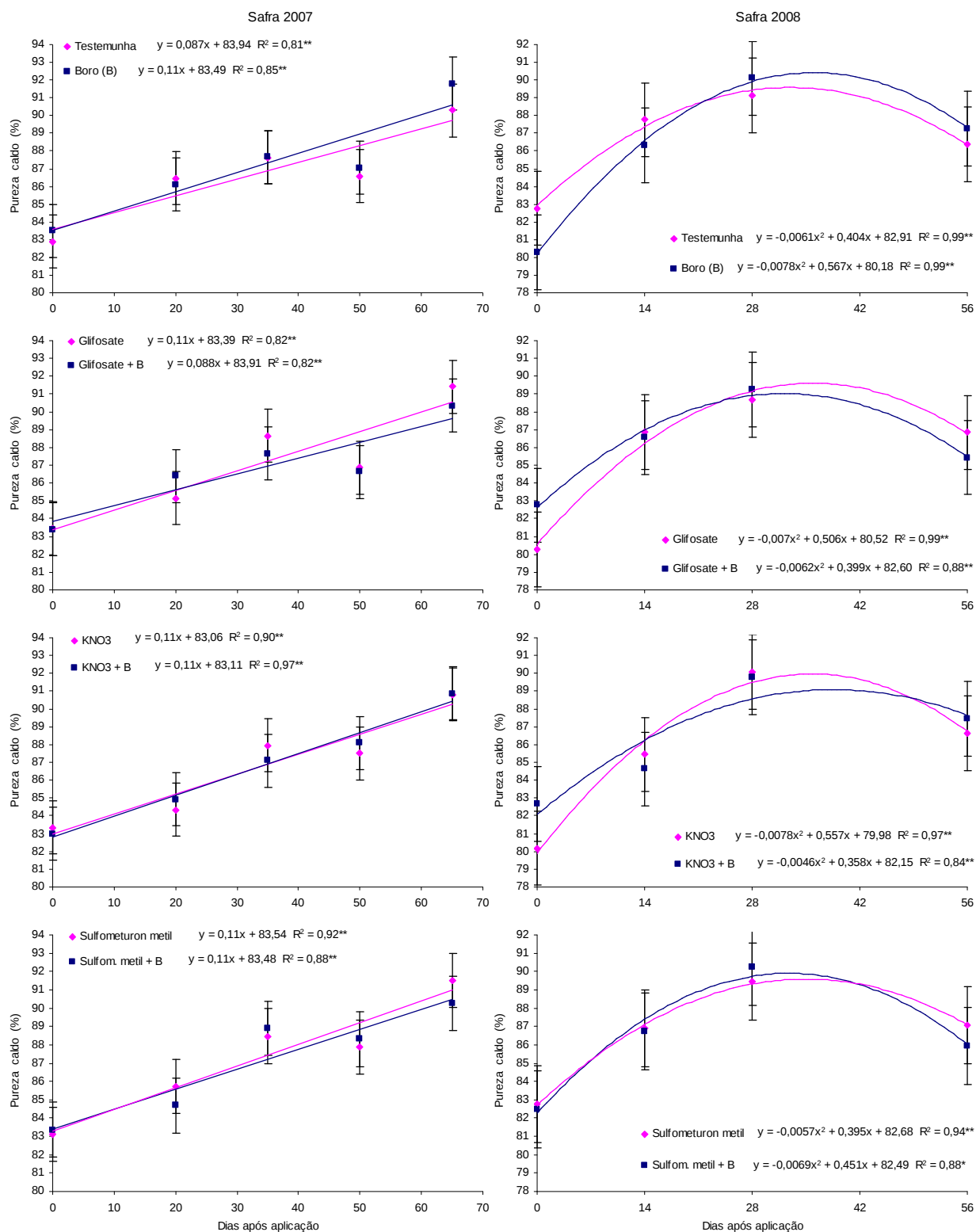


Figura 10. Pureza do caldo (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarapu do Tietê (SP), safras 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

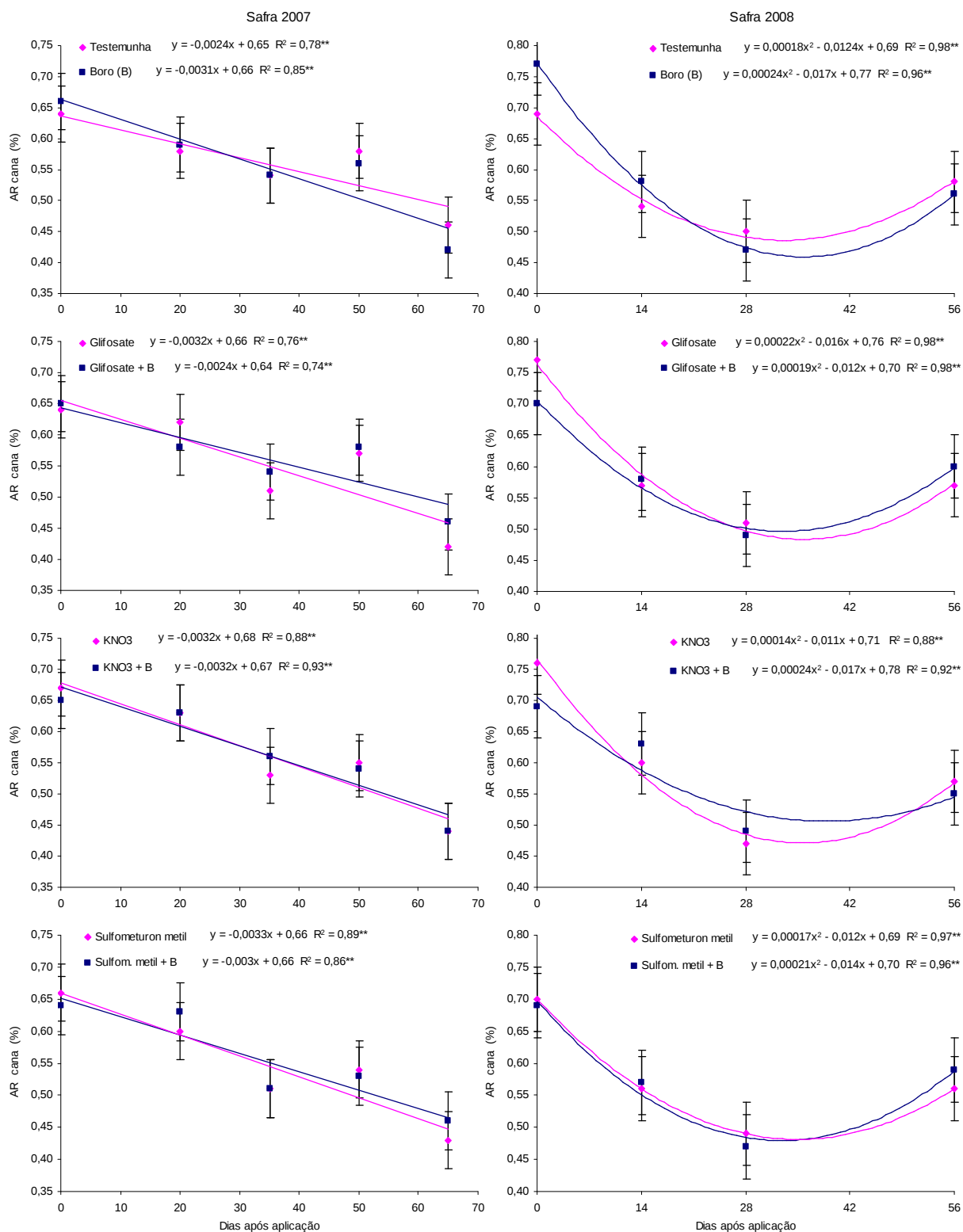


Figura 11. Açúcares redutores (AR cana, %) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarapu do Tietê (SP), safras 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

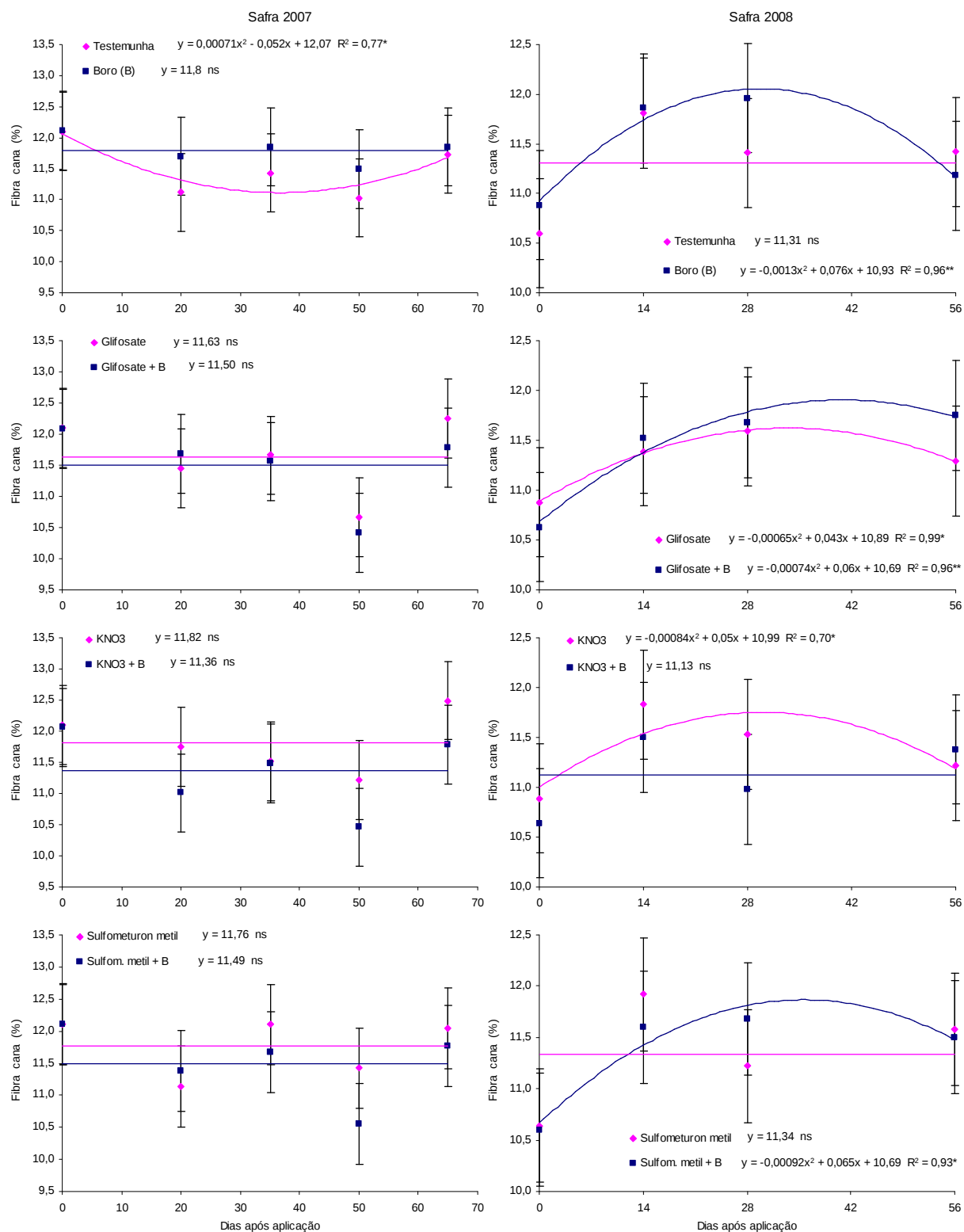


Figura 12. Fibra cana (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarau do Tietê (SP), safras 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

6.1.1.5 Curvas de maturação da cana-de-açúcar

Na região Sudeste do Brasil, o processo de maturação da cana-de-açúcar ocorre naturalmente a partir do mês de maio, atingindo seu clímax no mês de agosto/setembro. As condições climáticas, com a queda gradativa da temperatura e a diminuição das precipitações pluviais, até seca total no meio do ano, são as determinantes desse processo. A fotossíntese continua ocorrendo enquanto houver folhas verdes, com a produção de açúcar que vai se acumulando nos espaços disponíveis nos colmos. Ocorre então, mesmo com a paralização do crescimento vegetativo, a elevação de matéria seca acumulada, formada basicamente pela sacarose (DEUBER, 1988; ANDRADE, 2006).

Na Figura 13 encontram-se as curvas de maturação da variedade de cana-de-açúcar RB855453, resultantes do desdobramento da interação entre as épocas (DAA) x tratamentos (maturação natural, boro e maturadores), sendo os dados ajustados às funções lineares e quadráticas conforme o tratamento empregado, isto é, diferentes mecanismos de ação dos agentes químicos e suas associações com o boro, a aplicação do micronutriente e a testemunha.

Nas plantas sujeitas ao processo de maturação natural e à aplicação de Sulfometuron metil + B os teores de sacarose nos colmos aumentaram de forma quadrática com o transcorrer das épocas de amostragem na safra 2007, enquanto para os demais tratamentos tal comportamento foi linear positivo. Na safra posterior os tratamentos caracterizados pela maturação natural, Glifosate, Glifosate + B e Sulfometuron metil + B tenderam a elevar os valores de pol cana com resposta quadrática, sendo os demais tratamentos ajustados à modelos lineares crescentes (Figura 13).

De forma geral, não foi possível estabelecer o ponto de máxima deflexão da curva no período de amostragem realizado, ou seja, até os 65 DAA e 56 DAA, nas safras 2007 e 2008, respectivamente, provavelmente pelo fato da planta de cana-de-açúcar ainda não ter atingido seu ponto de máximo acúmulo de sacarose nos colmos (Figura 12). Para os tratamentos controle e Sulfometuron metil + B, na safra 2007, tal ponto ocorreu aos 102 DAA e 91 DAA, cujos valores calculados foram de 15,69 % e 16,48 %, respectivamente, e na safra subsequente o máximo acúmulo de sacarose nos colmos ocorreu aos 60 DAA, 89 DAA, 41 DAA e 47 DAA para os tratamentos controle, Glifosate, Glifosate + B e Sulfometuron

metil + B, cujos teores calculados foram 13,30 %, 15,17 %, 13,94 % e 13,77 %, respectivamente (Figura 13).

Pelos resultados obtidos quanto à pol cana na safra 2007 (Figura 13) é possível afirmar que os diferentes agentes químicos empregados mostraram efeito potencial de uso como indutores ou promotores do processo de maturação natural da cana-de-açúcar, enquanto na safra 2008 (Figura 13) tais tratamentos foram eficientes em promover tal processo mesmo sob condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento vegetativo da cultura (Figura 1). Diversos trabalhos têm concluído que os maturadores favorecem o processo de maturação da cana-de-açúcar mesmo sob condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento vegetativo da cultura com significativa antecipação do corte da matéria-prima, enquanto sob condições climáticas propícias ao processo de maturação natural, a adoção desta ferramenta no sistema produtivo tem possibilitado explorar o potencial da variedade em acumular sacarose, porém, de forma geral, não promovem antecipação do processo (CASTRO, 2000a, 2000b; LEITE, 2005; LEITE et al. 2009a, 2009b).

Uma das maiores necessidades das usinas e destilarias é a provisão de matéria-prima de boa qualidade no início de safra, ou mesmo, no mês de abril. Isso significa a disponibilidade de colmos de cana-de-açúcar com teores adequados de sacarose para propiciar extração econômica nas indústrias; no entanto, atualmente nenhuma variedade cultivada no Brasil apresenta conteúdo elevado de sacarose nesse período, visto que, até o mês de abril, o clima favorece o desenvolvimento vegetativo (DEUBER, 1988).

Dentro do complexo sistema de produção da indústria açucareira, a maturação da cana-de-açúcar é um dos aspectos mais importantes, pois é dele que depende o fornecimento de um fluxo contínuo de matéria-prima para o funcionamento constante da usina durante o período de colheita (ALMEIDA et al., 2003).

Na perspectiva econômica a cana é considerada madura ou em condição de ser industrializada no momento em que apresentar teor mínimo de sacarose (pol cana ou PCC) igual ou superior a 13 % do peso do colmo, sendo o rendimento melhor quanto maior for esta variável (DEUBER, 1988). Diversos outros parâmetros também apresentam correlação com o processo de maturação, dentre eles a pureza do caldo, mínimo de 80 % para o início da safra e, no decorrer, de 85 % (VENTURINI FILHO & NOGUEIRA, 2005), umidade da cana de aproximadamente 70 %, tolerando-se variação entre 68 e 72 %

(STUPIELLO, 1989) e açúcares redutores da cana próximo a 0,5 %, podendo chegar a 0,2 % (FERNANDES, 2003).

Nesse contexto, por meio da Figura 13 e conforme o modelo de ajuste dos dados na safra 2007, foi possível determinar que a aplicação do micronutriente elevou o teor de sacarose nos colmos, no mínimo a 13 %, aos 38 DAA, enquanto a maturação natural alcançou este teor aos 35 DAA. O uso do Glifosate induziu o mínimo teor de sacarose nos colmos para industrialização aos 34 DAA, enquanto na associação com o boro o teor foi obtido aos 36 DAA. Para os tratamentos KNO_3 e $\text{KNO}_3 + \text{B}$ o valor mínimo de pol cana para que a matéria-prima seja destinada à indústria (13 %) ocorreu aos 36 DAA e 37 DAA e, por fim, a aplicação do agente químico Sulfometuron metil isolado e associado ao micronutriente proporcionou acréscimo nos níveis de sacarose nos colmos, mínimo de 13 % para extração de açúcar, aos 31 e 28 DAA. Na safra 2008, os tratamentos controle e Boro elevaram o teor de sacarose nos colmos no mínimo a 13 % aos 40 DAA e 43 DAA, para o Glifosate e o Glifosate + B tal valor ocorreu aos 30 DAA e 20 DAA, para o KNO_3 e a associação com o micronutriente o teor de sacarose foi obtido aos 37 DAA e para o Sulfometuron metil e a combinação com o boro o mínimo valor de pol cana ocorreu aos 35 e 25 DAA, respectivamente (Figura 13).

Pelas informações supracitadas é possível concluir que no primeiro ano de condução do experimento, de forma geral, o uso isolado do micronutriente ou associado aos maturadores em comparação ao processo de maturação natural e à aplicação dos produtos químicos, não provocaram influência significativa em antecipar a colheita da matéria-prima, todavia na combinação do micronutriente com o Sulfometuron metil o processo de maturação da cana-de-açúcar foi antecipado em 3 dias. Por outro lado, no segundo ano de condução do experimento os resultados de pol cana mostraram antecipação da maturação e possibilidade de adiantamento no corte dos colmos de 10 dias na comparação entre os tratamentos Glifosate e Sulfometuron metil e suas respectivas associações com o micronutriente (Figura 13).

Na comparação entre o tratamento controle (maturação natural) e os demais tratamentos, na safra 2007, foi determinado precocidade de maturação da cana-de-açúcar e possibilidade de corte antecipado da matéria-prima de 4 e 7 dias para o uso do agente químico Sulfometuron metil e sua associação com o boro, respectivamente. Por outro lado, na safra posterior, a aplicação do maturador Glifosate e sua combinação com o micronutriente

possibilitou precocidade de maturação em 10 e 20 dias, o produto químico KNO_3 e sua associação com o boro antecipou a colheita em 3 dias, enquanto o emprego do agente químico Sulfometuron metil e sua combinação com o micronutriente induziu antecipação da maturação em 5 e 15 dias, respectivamente (Figura 13).

Em ensaio envolvendo a aplicação isolada e a mistura de diferentes maturadores, SIQUEIRA (2009) concluiu que o emprego do Sulfometuron metil, da mistura Sulfometuron metil + Glifosate e Glifosate anteciparam a colheita da matéria-prima em relação à testemunha (maturação natural) em 20, 20 e 18 dias, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por ALMEIDA et al. (2003) para aplicação de Sulfometuron metil sob condições de estresse hídrico, que verificaram antecipação de 20 dias, por PONTIN (1995) e CASTRO et al. (1996), que constatarem antecipação de 21 dias para o mesmo composto e por LEITE (2005), LEITE et al. (2009) e LEITE et al. (2009a), que determinaram significativa antecipação do corte dos colmos através do uso de distintos produtos químicos.

Pela interpretação conjunta das Figuras 5, 9 e 13 (safras 2007 e 2008), é possível constatar o efeito significativo do micronutriente associado aos maturadores Glifosate e Sulfometuron metil em induzir a antecipação do processo de maturação da cana-de-açúcar em relação ao uso isolado destes agentes químicos e em relação à testemunha, correlacionando tal efeito ao incremento do teor de sacarose nas diferentes porções dos colmos, mas principalmente no 1/3 superior, aliado às condições climáticas de cada período (Figura 1) e ao mecanismo de ação de cada agente.

A explicação para tal resultado é fundamentada no efeito fisiológico do boro e no mecanismo de ação do composto químico. O boro tem comprovado efeito no metabolismo de carboidratos e fenóis, transporte de açúcares pela membrana, síntese de ácidos nucleicos e fitohormônios, síntese, integridade e lignificação da parede celular, germinação de grãos de pólen e crescimento do tubo polínico, sendo essencial para a atividade meristemática da planta (MARSCHNER, 1995). Por outro lado o Glifosate tem rápida translocação das folhas para as raízes, rizomas e meristemas apicais via floema juntamente com os fotoassimilados, podendo apresentar movimento via simplasto, capaz de inibir especificamente a enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPs) que catalisa a condensação do ácido chiquímico e do fosfato piruvato, evitando a síntese de três aminoácidos

essenciais – triptofano, fenilalanina e tirosina (JAWORSKI, 1972; GRUYS & SIKORSKI, 1999; ZABLOTOWICZ & REDDY, 2004).

Quanto ao boro há evidências crescentes de que o micronutriente desempenha papel na função da membrana plasmática. Em tecidos deficientes em B a atividade da ATPase ligada à membrana plasmática e as taxas de absorção de íons são diminuídas. As membranas tornam-se permeáveis, mas podem ser rapidamente restauradas pelo suprimento do elemento. Este efeito da deficiência de B sobre a diminuição da função da membrana plasmática pode estar ligado a mudanças no metabolismo dos fenóis na parede celular associadas com a deficiência. Sob condições de deficiência de B, a via da pentose fosfato e não a da glicólise torna-se o meio predominante de degradação dos carboidratos, levando à formação de compostos fenólicos (e triptofano) pela via do ácido chiquímico. O conseqüente acúmulo de fenóis e o aumento da atividade da polifenoloxidase levam a compostos intermediários altamente reativos, tais como as quinonas. Estes compostos, bem como os fenóis fotoativados, são altamente efetivos na produção de radicais superóxido, os quais são potencialmente capazes de danificar as membranas em decorrência da peroxidação de lipídeos (SHELP, 1993; KIRKBY & RÖMHELD, 2007).

A interpretação conjunta das Figuras 2, 3 e 13 referentes aos parâmetros bioquímicos (enzimas invertases) e acúmulo de sacarose nos colmos é possível associar o efetivo acúmulo de sacarose decorrente da elevação dos níveis enzimáticos da NI no 1/3 superior dos colmos, principalmente na safra 2008, sendo constatado nessa safra redução da atividade da SAI, cuja condição climática nesse período foi favorável ao desenvolvimento vegetativo da cultura (Figura 1), corroborando com outros trabalhos de pesquisa (LINGLE, 1997; ZHU et al., 1997; TERAUCHI et al., 2000; ROSE & BOTHA, 2000).

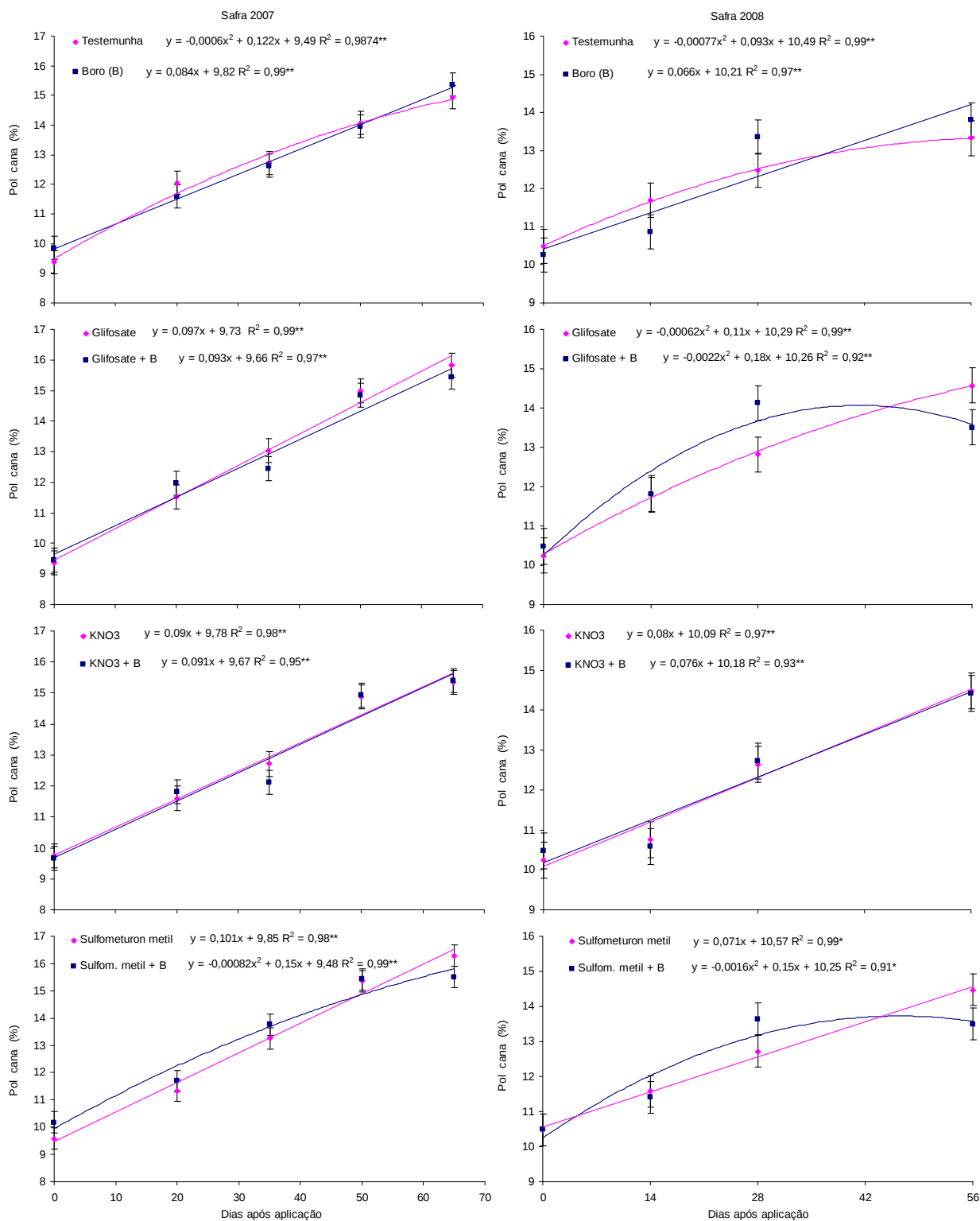


Figura 13. Curvas de maturação da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê (SP), safras 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

6.1.1.6 Amido no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar

ANYANGWA et al. (1993) enfatizaram o efeito negativo do amido presente no caldo de cana-de-açúcar como fator limitante para a filtrabilidade durante o processo de cristalização do açúcar e, segundo ONNA & HASHIMOTO (1993) o elevado nível deste carboidrato no caldo implica no aumento da viscosidade, refletindo na diminuição da recuperação de açúcar no processo de fabricação.

Na Figura 14 encontram-se os teores de amido determinados na porção apical dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453, resultantes do desdobramento da interação entre as épocas (DAA) x tratamentos (maturação natural, boro e maturadores), verificando-se que a presença em quantidade deste carboidrato foi influenciada de forma diferenciada pelos tratamentos adotados, cujos dados foram ajustados às funções lineares e quadráticas.

Na safra 2007 os tratamentos promoveram redução quadrática do teor de amido no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar até os 28 DAA (0,083 %) e 19 DAA (0,079 %) para a testemunha e Boro, até os 20 DAA (0,031 %) e 30 DAA (0,092 %) para o Glifosate e Glifosate + B, até os 21DAA (0,066 %) e 23 DAA (0,043 %) para o KNO_3 e KNO_3 + B e até os 13 DAA (0,086 %) e 9 DAA (0,084 %) para o Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + B, respectivamente, com posterior incremento. Todavia diferença significativa entre os tratamentos controle e Boro ocorreu somente aos 20 DAA (0,039 % e 0,079 %, respectivamente) e aos 65 DAA (0,0429 % e 0,0306 %), respectivamente (Figura 14).

Na safra 2008 os tratamentos Boro, Glifosate, Glifosate + B, KNO_3 , Sulfometuron metil e sua associação com o micronutriente induziram aumento linear da quantidade de amido com o transcorrer das épocas de amostragem, enquanto para os tratamentos controle e KNO_3 houve resposta quadrática com mínimo teor aos 14 DAA e 17 DAA, cujos valores calculados foram 0,0103 % e 0,094 %, respectivamente, seguido de incremento até a colheita. Todavia, conforme os ajustes dos dados, a combinação do micronutriente com o produto químico Glifosate e o uso isolado deste último implicou na significativa redução do teor de amido aos 28 DAA (0,023 % e 0,027 %, respectivamente) (Figura 14). Tais resultados corroboram com os obtidos por SIQUEIRA (2009), que

determinou incremento no teor de amido no 1/3 superior dos colmos através da aplicação de maturadores, isolados ou associados.

Para CÉSAR & MAZZARI (1972) o teor de amido na cana de açúcar sofre influência de diversos fatores, dentre os quais, variedade, tipo de solo, estágio de desenvolvimento, adubação, sendo observado neste ensaio significativo efeito do fator estágio de desenvolvimento da cultura. Sobretudo, na safra 2008 (Figura 13), é possível associar o incremento deste carboidrato no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar com a continuidade do desenvolvimento vegetativo caracterizado pelo crescimento em altura das plantas (Tabela 1). Segundo TAIZ & ZEIGER (2004) e CASTRO (2002) o amido está intimamente relacionado aos tecidos imaturos, em processo de alongamento e expansão celular.

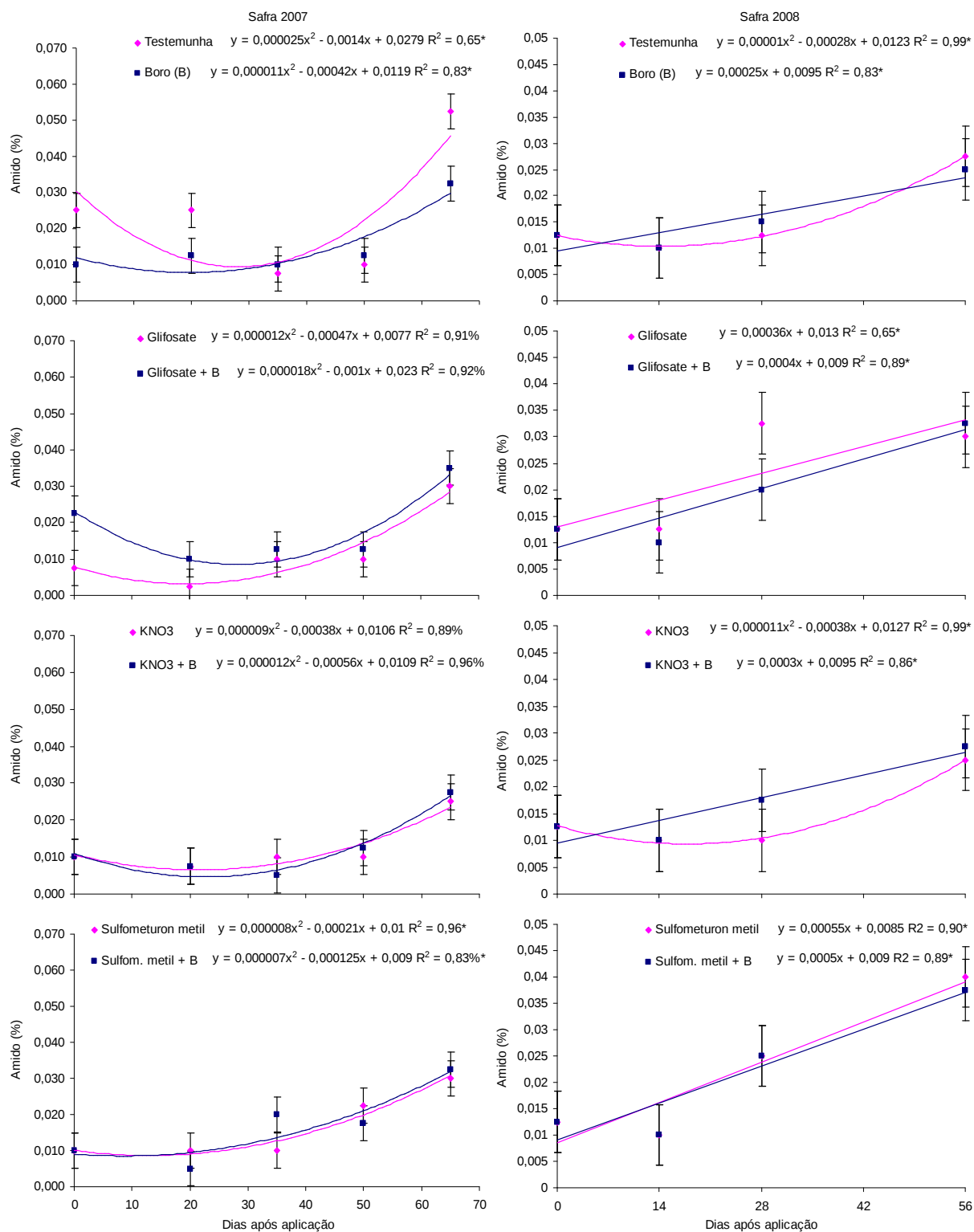


Figura 14. Amido (%) no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarçu do Tietê (SP), safras 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

6.1.1.7 Produtividade de colmos (TCH) e açúcar (TPH)

Por meio da Figura 15 referente ao desdobramento das épocas de avaliação (DAA) x tratamentos foi possível constatar efeito significativo dos tratamentos sobre a produtividade de colmos por hectare (TCH), com os tratamentos apresentando resposta expressa por modelo linear crescente com o transcorrer das épocas de amostragem independente da safra, todavia o coeficiente angular dos modelos matemáticos foi distinto conforme o tratamento empregado.

Com relação à TCH, a aplicação foliar de boro em comparação à maturação natural (testemunha), assim como o uso dos agentes químicos comparado às combinações com o micronutriente, de forma geral, não produziram efeito estatístico sobre tal parâmetro dentro de cada época de amostragem. Todavia, na safra 2008 determinou-se aos 56 DAA valor de tonelada de colmos por hectare para o Sulfometuron metil associado ao boro significativamente superior ao obtido pela utilização isolada do maturador, cujos valores calculados foram aproximadamente 127 e 122 toneladas de colmos por hectare, respectivamente (Figura 15).

Na Figura 16 encontram-se os dados referentes à produtividade de açúcar (TPH) resultantes do desdobramento da interação entre as épocas de amostragem (DAA) x tratamentos, sendo os dados ajustados às funções lineares e quadráticas conforme os diferentes mecanismos de ação dos agentes químicos empregados e suas associações com o boro.

Para a TPH na safra 2007 os tratamentos apresentaram resposta expressa por modelo linear crescente com o transcorrer das épocas de amostragem. Na safra subsequente este comportamento foi observado para os tratamentos controle, Boro, Glifosate, KNO_3 , $\text{KNO}_3 + \text{B}$ e Sulfometuron metil, enquanto na associação do micronutriente com os agentes químicos Glifosate e Sulfometuron metil houve ajuste à modelo quadrático positivo (Figura 16).

No primeiro ano de condução do experimento foi determinada redução significativa na TPH pela associação do micronutriente com o maturador Glifosate em relação à aplicação deste agente químico aos 35 DAA (17,38 e 18,06 toneladas de pol por hectare, respectivamente) e aos 65 DAA (22,33 e 23,64 toneladas de pol por hectare, respectivamente)

e pela combinação do elemento com o produto químico KNO_3 em comparação a este último isoladamente aos 35 DAA (17,21 e 17,58 toneladas de pol por hectare, respectivamente) (Figura 16).

No segundo ano de condução do experimento o uso do boro e sua associação com o maturador Glifosate proporcionaram decréscimo na TPH em relação ao controle e ao produto químico Glifosate aos 14 DAA (12,21 e 12,95 toneladas de pol por hectare, respectivamente) e aos 56 DAA (16,50 e 18,50 toneladas de pol por hectare, respectivamente), enquanto aos 28 DAA quantificou-se incremento significativo da TPH pela associação do boro aos maturadores Sulfometuron metil (15,22 toneladas de pol por hectare) e Glifosate (15,34 toneladas de pol por hectare) em comparação aos tratamentos Sulfometuron metil (14,13 toneladas de pol por hectare) e Glifosate (14,58 toneladas de pol por hectare). Neste último período a máxima produtividade de açúcar foi determinada aos 50 DAA e aos 66 DAA para os tratamentos Glifosate + B e para o Sulfometuron + B, cujos valores calculados foram 16,49 e 17,56 toneladas de pol por hectare, respectivamente (Figura 16).

A interpretação conjunta da Figuras 13, 15 e 16 permite afirmar que os parâmetros pol cana (curva de maturação) e TCH (tonelada de cana ha^{-1}) têm influência significativa sobre a quantificação da TPH [tonelada de açúcar (pol) ha^{-1}], ressaltando que tais efeitos são induzidos pela presença dos diferentes agentes indutores ou promotores da maturação associados às condições climáticas (Figura 1). Nesse contexto, na safra 2008, é evidente o incremento dos valores de TPH no tratamento referente ao controle (maturação natural) em relação à aplicação foliar do micronutriente isolada, o qual pode ser atribuído, provavelmente, aos maiores valores de TCH determinados para tal tratamento, embora sem diferirem entre si, como pode ser observado também na Tabela 1 referente ao crescimento em altura das plantas.

Segundo GHELLER (2008), diversos fatores estão envolvidos na produção canavieira, dentre eles o conhecimento da planta de cana-de-açúcar, isto é, suas características varietais e seus atributos ecofisiológicos relacionados com a produção agrícola (expressa em toneladas de colmos por hectare – TCH) e acumulação de açúcar (medida em sacarose aparente – POL cana ou, açúcar teórico recuperável – ATR) – e o vínculo adequado da logística de colheita aos fatores agrônômicos. A influência dos componentes primários da

produção (TCH, Pol cana ou ATR) no rendimento agroindustrial das lavouras é indiscutível, portanto é fundamental utilizar cada componente em seu momento mais propício.

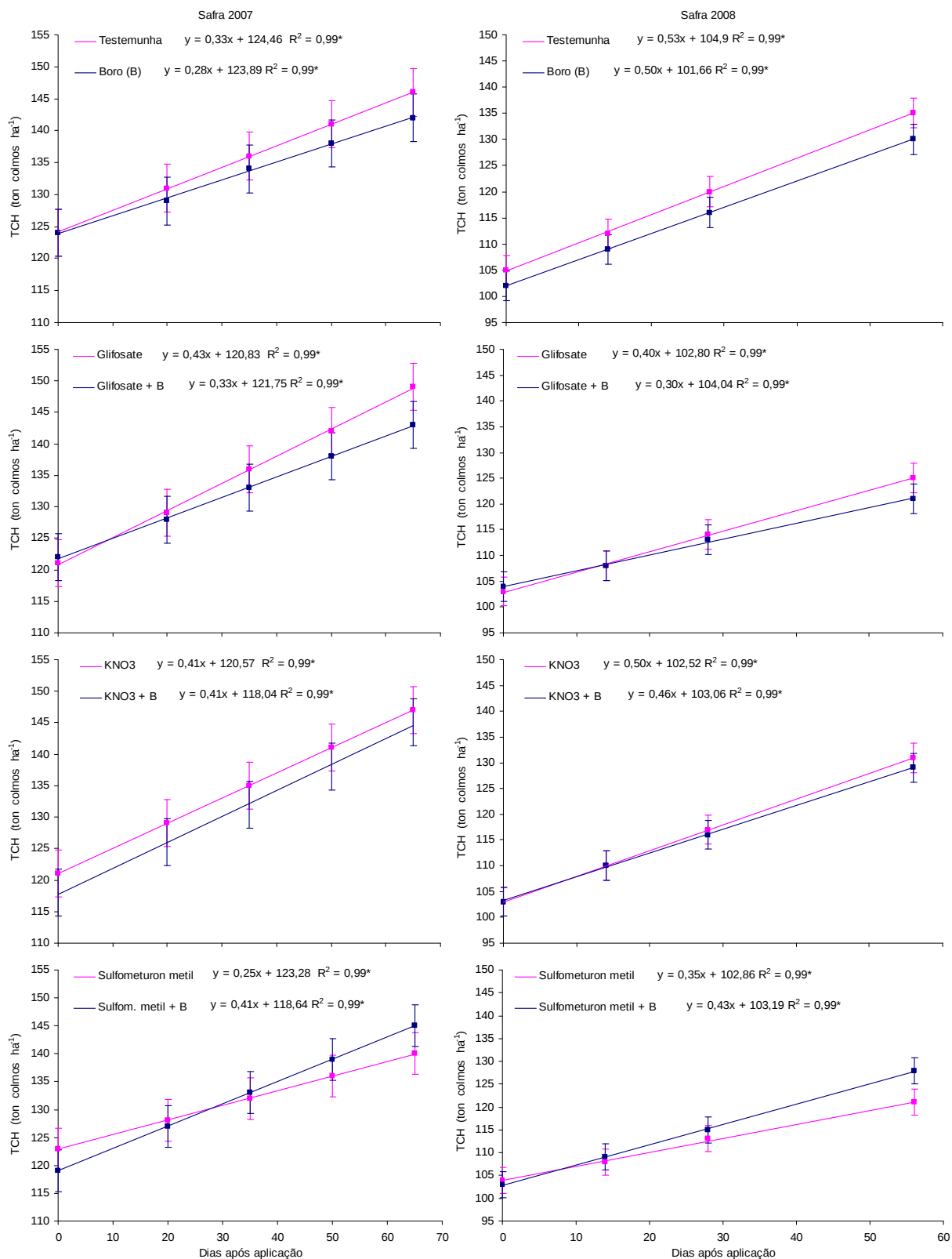


Figura 15. TCH (ton colmos ha^{-1}) da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarapu do Tietê (SP), safra 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.

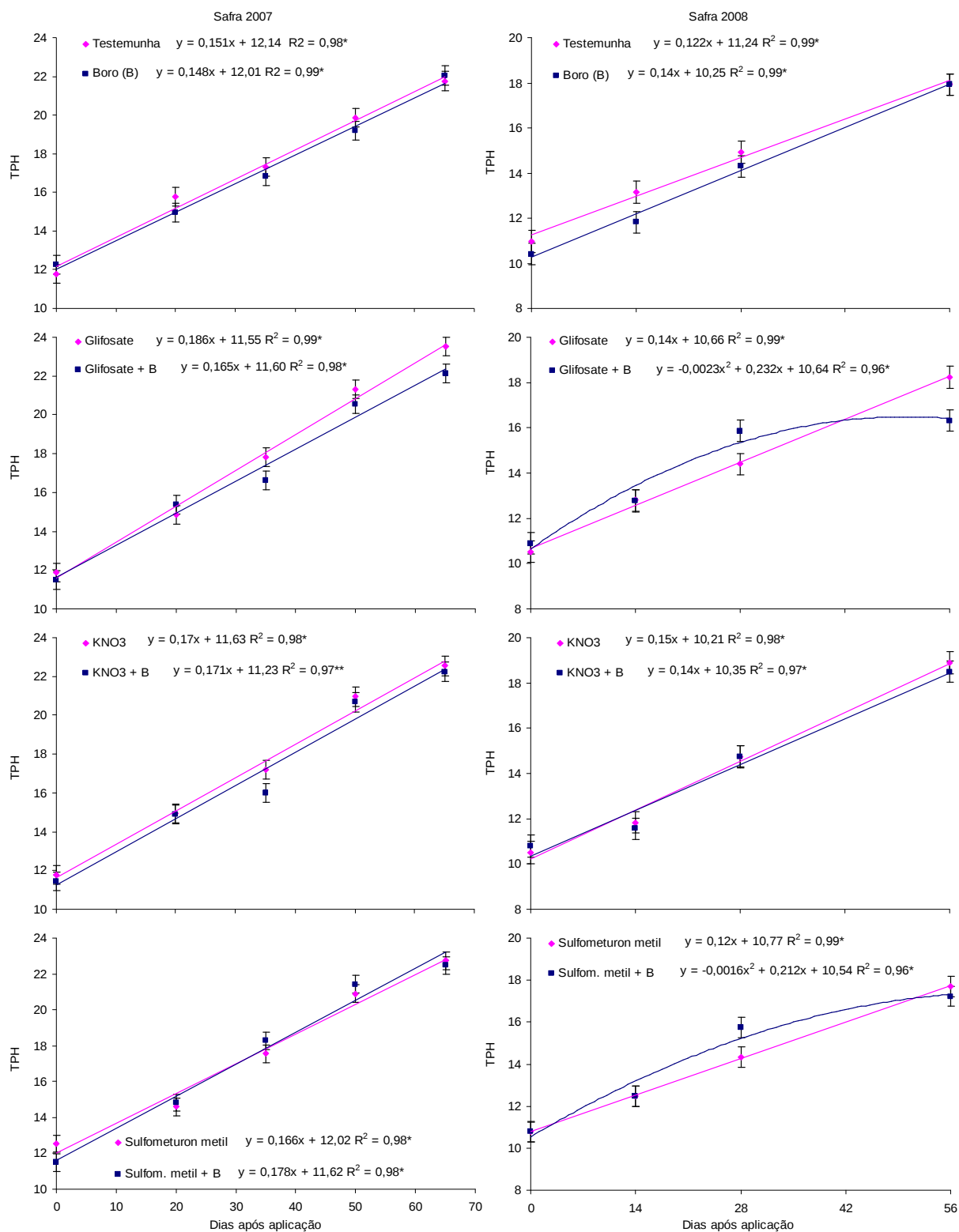


Figura 16. TPH (ton pol cana ha⁻¹) da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarapu do Tietê (SP), safra 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.

6.1.1.8 Atividade das enzimas oxidativas peroxidase (POX), superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar

Nas Tabelas 2, 3 e 4 estão contidos os resultados referentes à determinação da atividade das enzimas peroxidase (POX), superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) nas folhas da cana-de-açúcar conforme os tratamentos adotados e as épocas de avaliação, não sendo constatado diferença significativa na instalação do experimento em ambas as safras, todavia com o transcorrer das épocas de amostragem é possível afirmar variação do nível enzimático com diferentes magnitudes em função dos diferentes mecanismos de ação dos tratamentos aplicados.

Nas safras 2007 e 2008, aos 12 DAA, o uso dos agentes químicos KNO_3 e Glifosate induziram aumento e redução significativa na atividade da POX, respectivamente, sendo determinado para os demais tratamentos valores intermediários (Tabela 2).

No primeiro ano de condução do experimento, aos 24 DAA, o maior nível de atividade da POX foi determinado nas folhas das plantas sujeitas ao uso foliar do maturador Sulfometuron metil associado ao boro, enquanto nas folhas das plantas tratadas com os produtos químicos KNO_3 e Sulfometuron metil constatou-se o menor nível de atividade (Tabela 2). Por outro lado, aos 36 DAA, os maiores níveis enzimáticos da POX foram detectados para os tratamentos controle (maturação natural), KNO_3 + B e Sulfometuron metil + B, enquanto comportamento inverso ocorreu através do emprego do micronutriente e do maturador Sulfometuron metil (Tabela 2).

No segundo ano de condução do experimento, aos 24 DAA, a aplicação dos maturadores Glifosate, Glifosate + B e Sulfometuron metil induziram incremento na atividade da enzima POX, sendo constatado a menor atividade por meio do uso do produto químico KNO_3 . Todavia, aos 36 DAA, nas folhas das plantas sujeitas ao processo de maturação natural (controle) houve reduzido nível enzimático da POX, enquanto nas folhas das plantas tratadas com o maturador Glifosate associado ao micronutriente observou-se elevada atividade da enzima, com os demais tratamentos revelando valores enzimáticos intermediários (Tabela 2).

Com relação à enzima superóxido dismutase (SOD) houve efeito significativo dos tratamentos com o transcorrer das épocas de avaliação em ambas as safras, sendo constatado, na safra 2007, maior nível enzimático da SOD nas folhas das plantas tratadas com Boro aos 12 DAA, nas plantas sujeitas ao processo de maturação natural (controle) aos 24 DAA e nas plantas que sofreram a aplicação foliar dos agentes químicos Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil aos 36 DAA (Tabela 3). Na safra 2008 tal comportamento foi observado para os tratamentos controle, Boro, Glifosate e Sulfometuron metil aos 12 DAA, para a aplicação dos maturadores Glifosate e Sulfometuron metil associados ao micronutriente aos 24 DAA e para a maturação natural (controle) aos 36 DAA (Tabela 3).

Por outro lado, na safra 2007, com exceção da aplicação foliar do micronutriente, os demais tratamentos induziram reduzida atividade da enzima SOD aos 12 DAA, sendo constatado resposta semelhante nas folhas das plantas tratadas com o maturador Sulfometuron metil aos 24 DAA e, aos 36 DAA, os tratamentos controle, Boro, Glifosate + B, KNO_3 + B e Sulfometuron metil + B apresentaram os menores valores enzimáticos. Na safra posterior, aos 12 DAA, a aplicação dos tratamentos KNO_3 , Glifosate + B, KNO_3 + B e Sulfometuron metil + B induziram decréscimo significativo na atividade da enzima SOD, enquanto resposta semelhante foi observada nas folhas das plantas sujeitas à aplicação do micronutriente e do composto químico KNO_3 aos 24 e 36 DAA, respectivamente (Tabela 3).

A atividade da enzima catalase nas folhas das plantas caracterizadas pela ausência da aplicação dos tratamentos (controle) foi elevada aos 12 e 24 DAA na safra 2007, enquanto as plantas tratadas com KNO_3 + B revelaram menor atividade de tal enzima nessas épocas de avaliação. Nessa safra, aos 24 DAA, não houve diferença estatística entre os níveis de atividade da enzima CAT determinados para os tratamentos controle e para a aplicação do micronutriente. No entanto, aos 36 DAA, a aplicação somente do KNO_3 induziu significativo aumento no nível enzimático da CAT, sendo detectada para os tratamentos controle (maturação natural) e Glifosate + B comportamento inverso (Tabela 4).

No segundo ano de condução do experimento, aos 12 e 36 DAA, a ausência da aplicação dos tratamentos proporcionou incremento na atividade da enzima CAT, porém sem diferir do emprego do maturador Glifosate aos 12 DAA e do uso dos agentes químicos Sulfometuron metil e KNO_3 + B aos 36 DAA, sendo constatado a menor atividade

para os tratamentos Boro e Glifosate + B aos 12 DAA e para os tratamentos KNO₃ e Sulfometuron metil + B aos 36 DAA. Contudo, aos 24 DAA, nas folhas das plantas submetidas à aplicação de Sulfometuron metil + B apresentaram elevado nível enzimático de CAT, enquanto para o uso do maturador Glifosate houve decréscimo na atividade CAT (Tabela 4).

LEITE (2005) e LEITE & CRUSCIOL (2008) enfatizaram que o uso do maturador Sulfometuron metil em cana-de-açúcar, mas principalmente do Glifosate, proporcionou elevados índices de brotação lateral. Dessa forma, apesar de não mensurarmos a taxa de brotação lateral decorrente do uso destes produtos químicos nos ensaios realizados, a verificação visual nos campos experimentais está de acordo com o preconizado pelos autores supracitados. Sobretudo, a interpretação das Tabelas 2, 3 e 4, enzimas POX, SOD e CAT respectivamente, possivelmente refletem tal afirmação, haja visto que, segundo CUI et al. (1999) o estresse oxidativo está envolvido na diferenciação celular e embriogênese somática, quando a CAT e atividade das peroxidases diminuíram rapidamente nos primeiros dias de diferenciação celular, enquanto a atividade da SOD e a concentração de H₂O₂ aumentou.

O Glifosate causa a inibição da síntese do ácido δ -aminolevulínico (AAL) (COLE, 1985). Em plantas o AAL tem papel chave na síntese de porfirinas, que são incorporadas a importantes proteínas como os citocromos, CAT e POXs. A inibição da síntese de AAL pode ser de considerável importância no modo de ação que pode explicar a diminuição do conteúdo de CAT em folhas de *Cyperus rotundus* tratadas com glifosato (ABU-IRMAILEH & JORDAN, 1978). Tais afirmações podem explicar, em parte, os resultados obtidos quanto à atividade das enzimas CAT e POX, tabelas 2 e 4, respectivamente, determinadas para tal tratamento.

A análise dos dados referentes à altura das plantas de cana-de-açúcar (Tabela 1) e a atividade da enzima peroxidase (Tabela 2) permite inferir, parcialmente, a significativa influência da POX sobre o crescimento vegetal. Segundo SIEGEL (1993) as enzimas AIA-oxidase e peroxidases têm sido intimamente ligadas com o crescimento vegetal e são, com pequenas modificações, a mesma proteína enzimática.

Para HAISSIG (1986), as peroxidases podem afetar a formação de raízes através de sua influência sobre as auxinas (rizogênese via metabolismo do AIA), ligninas e metabolismo das antocianinas. As maiores atividades das peroxidases são observadas nas paredes celulares e a parede primária representa a matriz na qual ocorre a

lignificação, catalisada pela enzima. As peroxidases funcionam como catalisadores na degradação do AIA e, este, age como repressor e indutor de peroxidases específicas. HAUSMAN (1993) sugeriram que o aumento da atividade das peroxidases e decréscimos do nível de AIA podem estar associados com as primeiras divisões celulares da organização e crescimento dos primórdios radiculares, corroborando com KLERK et al. (1990), os quais sugeriram que a elevada atividade de peroxidases básicas está relacionada com a capacidade de divisão celular. Além disso, as peroxidases atuam na biossíntese do etileno, na lignificação, além da destruição das auxinas, devido ao fato dessas se apresentarem em muitas formas moleculares, participando de diferentes reações bioquímicas (DENCHEVA & KLISURKA, 1982; PASSARDI et al., 2005).

Segundo SIEGEL (1993) sob condições de estresse, as plantas tendem a aumentar a atividade da peroxidase e às vezes, é a primeira enzima a ter atividade alterada, independentemente do substrato utilizado ou do estresse aplicado, corroborando com os dados obtidos e mostrados na Tabela 2. A peroxidase pode ser tomada como um marcador bioquímico de estresse resultante tanto de fatores bióticos como de abióticos e parece ser a molécula chave de adaptação das plantas, ou de algum de seus órgãos separadamente, às mudanças do meio ambiente (LIMA et al., 1999; GASPAR, 1986).

É importante ressaltar que as folhas de cana-de-açúcar (folha +3) amostradas para determinação nutricional e enzimática, possivelmente, sofreram a influência de diversos fatores bióticos e abióticos no período de condução do experimento, dentre os quais destacamos as condições climáticas (Figura 1) e a ocorrência da doença fúngica Ferrugem, cujo agente causador *Puccinia melanocephala*, aliado ao mecanismo de ação dos produtos químicos empregados, de tal forma que a variabilidade nos níveis enzimáticos mostrados nas Tabelas 2, 3 e 4 referentes às enzimas POX, SOD e CAT respectivamente, provavelmente refletem a resposta quanto a interação dos fatores supracitados.

O surto oxidativo com o aumento das EROs, segundo LAMB & DIXON (1997) e MEHDY et al. (1996), pode estar relacionado com a resposta de hipersensibilidade decorrente da interação patógeno/planta, com a conseqüente necrose das células próximas aos locais de entrada do patógeno na tentativa de isolar o mesmo num pequeno local, evitando assim a infecção sistêmica. No entanto, as EROs não estão apenas relacionadas com a morte celular programada, característica da resposta de hipersensibilidade,

mas podem agir diretamente sobre o patógeno como sinalizador, juntamente com o ácido salicílico para a produção de proteínas de resistência, na ativação de genes de defesa no hospedeiro (planta), na ligação oxidativa de proteínas reforçando a parede celular e como sinalizadores na síntese de fitoalexinas. Para KWAK et al. (1996) a atividade da POX é aumentada freqüentemente em resposta a hormônios relacionados com o estresse, tais como o ácido abscísico e etileno e, da mesma forma, o Paraquat, herbicida gerador de estresse oxidativo, também induz este tipo de resposta.

Tabela 2. Atividade da enzima peroxidase (POX) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2007/2008.

Tratamentos	Peroxidase			
	μ moles de H_2O_2 consumidos g^{-1} de matéria fresca x minuto			
	Safr 2007			
	0 DAA ⁽¹⁾	12 DAA ⁽¹⁾	24 DAA ⁽¹⁾	36 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	2,00 a	2,31 c	2,43 c	3,40 a
Boro (B)	2,00 a	2,55 bc	1,64 de	1,99 d
Glifosate	2,00 a	1,69 d	1,43 e	2,43 cd
KNO ₃	2,08 a	3,26 a	0,97 f	2,72 bc
Sulfometuron metil	2,00 a	2,08 cd	1,15 f	2,08 d
Glifosate + B	1,93 a	2,12 cd	1,72 d	3,18 ab
KNO ₃ + B	2,00 a	2,45 bc	2,97 b	3,55 a
Sulfom. metil + B	2,00 a	2,86 ab	3,55 a	3,33 a
CV (%) = 5,29				
Tratamentos	Safr 2008			
	0 DAA ⁽¹⁾	12 DAA ⁽¹⁾	24 DAA ⁽¹⁾	36 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	1,94 a	2,61 bcd	2,99 a	0,65 e
Boro (B)	1,90 a	2,95 abc	2,28 b	1,04 bc
Glifosate	1,99 a	2,14 d	2,99 a	0,84 cde
KNO ₃	1,91 a	3,29 a	1,82 c	1,03 bc
Sulfometuron metil	1,93 a	2,81 abc	2,99 a	0,78 de
Glifosate + B	1,90 a	3,14 ab	3,07 a	1,43 a
KNO ₃ + B	1,92 a	2,96 abc	2,31 b	0,91 cd
Sulfom. metil + B	1,97 a	2,34 cd	2,00 bc	1,19 ab
CV (%) = 6,19				

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 10% de probabilidade.

⁽¹⁾ Dias após a aplicação.

Tabela 3. Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao boro. Igarapu do Tietê, SP, safras 2007/2008.

Tratamentos	Superóxido dismutase			
	unidades de atividade g ⁻¹ de matéria fresca x minuto			
	Safra 2007			
	0 DAA ⁽¹⁾	12 DAA ⁽¹⁾	24 DAA ⁽¹⁾	36 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	0,51 a	0,57 b	0,78 a	0,65 b
Boro (B)	0,48 a	1,14 a	0,69 bc	0,69 b
Glifosate	0,51 a	0,65 b	0,68 cd	1,16 a
KNO ₃	0,50 a	0,67 b	0,65 de	1,31 a
Sulfometuron metil	0,49 a	0,66 b	0,62 e	1,13 a
Glifosate + B	0,47 a	0,61 b	0,70 bc	0,66 b
KNO ₃ + B	0,51 a	0,53 b	0,72 b	0,68 b
Sulfom. metil + B	0,50 a	0,66 b	0,70 bc	0,74 b
CV (%) = 4,40				
Tratamentos	Safra 2008			
	0 DAA ⁽¹⁾	12 DAA ⁽¹⁾	24 DAA ⁽¹⁾	36 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	1,46 a	0,77 a	1,56 b	0,92 a
Boro (B)	1,45 a	0,72 a	1,09 d	0,72b
Glifosate	1,44 a	0,79 a	1,17 cd	0,79 ab
KNO ₃	1,43 a	0,61 b	1,57 b	0,68 b
Sulfometuron metil	1,45 a	0,77 a	1,40 bc	0,83 ab
Glifosate + B	1,44 a	0,59 b	2,01 a	0,74 ab
KNO ₃ + B	1,46 a	0,60 b	1,25 cd	0,82 ab
Sulfom. metil + B	1,44 a	0,59 b	1,92 a	0,73 b
CV (%) = 3,45				

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 10% de probabilidade.

⁽¹⁾ Dias após a aplicação.

Tabela 4. Atividade da enzima catalase (CAT) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2007/2008.

Tratamentos	Catalase			
	μ moles de H_2O_2 decomposto g^{-1} de matéria fresca x minuto			
	Safr 2007			
	0 DAA ⁽¹⁾	12 DAA ⁽¹⁾	24 DAA ⁽¹⁾	36 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	340,91 a	1515,47 a	583,09 a	369,39 f
Boro (B)	340,83 a	584,90 b	538,11 a	425,77 e
Glifosate	339,97 a	364,95 e	442,39 b	559,49c
KNO ₃	341,08 a	362,55 e	417,46 b	748,28 a
Sulfometuron metil	340,77 a	511,17 c	411,59 b	661,41 b
Glifosate + B	338,99 a	424,27 de	444,72 b	378,83 f
KNO ₃ + B	339,56 a	278,92 f	294,78 d	417,45 e
Sulfom. metil + B	341,18 a	485,73 cd	353,11 c	483,12 d
CV (%) = 6,10	6,10	6,06	5,86	2,96
Tratamentos	Safr 2008			
	0 DAA ⁽¹⁾	12 DAA ⁽¹⁾	24 DAA ⁽¹⁾	36 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	506,01 a	606,62 a	961,09 c	655,51 a
Boro (B)	505,00 a	463,24 c	859,31 d	660,19 a
Glifosate	503,99 a	630,22 a	660,93 e	579,28 b
KNO ₃	506,24 a	506,26 bc	890,59 d	518,46 c
Sulfometuron metil	505,19 a	523,08 b	886,28 d	688,15 a
Glifosate + B	505,99 a	458,57 c	1218,08 b	590,23 b
KNO ₃ + B	504,56 a	490,60 bc	959,36 c	667,09 a
Sulfom. metil + B	504,12 a	489,58 bc	1316,09 a	472,48 c
CV (%) = 5,62				

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 10% de probabilidade.

⁽¹⁾ Dias após a aplicação.

6.1.1.9 Rebrotas da soqueira e teores de antocianinas, carotenóides, clorofila (a+b) e compostos fenólicos totais

Na Tabela 5 estão contidos os resultados referentes à determinação da capacidade de rebrotas da soqueira da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função dos tratamentos adotados, sendo possível afirmar que, em ambas as safras, houve significativa influência dos agentes químicos, associados ou não ao micronutriente, sobre tal parâmetro.

Na safra 2007 quantificou-se o menor número de brotos por metro para o tratamento controle (maturação natural) e Sulfometuron metil associado ao boro, diferindo da aplicação do agente químico KNO_3 e $\text{KNO}_3 + \text{B}$, os quais, por sua vez, revelaram os maiores valores para esta variável. Por outro lado, na safra posterior, as plantas tratadas com o maturador Sulfometuron metil apresentaram número de brotos por metro estatisticamente superior às plantas submetidas à ausência da aplicação dos tratamentos (controle) (Tabela 5). Tais resultados discordam de LEITE & CRUSCIOL (2008) e, em parte de SIQUEIRA (2009), os quais determinaram o menor e o maior número de brotos por metro através do uso do Glifosate e para a testemunha (maturação natural), corroborando com outros resultados de pesquisas (ROMERO et al., 1998b, 2000), porém discorda de ROMERO et al. (1998a), os quais não constataram efeito prejudicial deste agente químico na brotação posterior da cana-de-açúcar.

No momento da avaliação da capacidade de rebrotas da soqueira da cana-de-açúcar, aos 60 DAC, quantificou-se a presença de antocianinas, carotenóides, clorofila (a+b) e compostos fenólicos totais nas folhas, cujos resultados encontram-se na Tabela 6.

Na safra 2007 os tratamentos não afetaram o teor de antocianinas na parte aérea (folhas) da cana-de-açúcar, enquanto em 2008 a aplicação do maturador Glifosate associado ao boro proporcionou o maior conteúdo de antocianinas, diferindo do uso dos agentes químicos KNO_3 , $\text{KNO}_3 + \text{B}$, Sulfometuron metil, Sulfometuron metil + B e do micronutriente, os quais ocasionaram conteúdo significativamente inferior (Tabela 6).

Com relação ao teor de carotenóides, o emprego dos compostos químicos Sulfometuron metil e $\text{KNO}_3 + \text{B}$ na safra 2007 implicou no decréscimo e no incremento, respectivamente, de tal componente na parte aérea (folhas) das plantas de cana-

de-açúcar. No entanto, na safra subsequente as plantas submetidas ao processo de maturação natural (controle) e à aplicação dos agentes químicos Sulfometuron metil e Glifosate + B elevaram o teor de carotenóides, sendo quantificado para o tratamento KNO_3 a menor presença deste componente (Tabela 6).

A análise do teor de clorofila (a+b) na parte aérea (folhas) das plantas de cana-de-açúcar no primeiro ano de condução do experimento possibilitou afirmar que a aplicação do maturador Sulfometuron metil associado ao micronutriente apresentou valor estatisticamente superior aos observados para os tratamentos Boro, Glifosate e Sulfometuron metil. Por outro lado, no segundo ano de condução do experimento a menor presença de clorofila (a+b) foi determinada para os tratamentos Boro, Glifosate, KNO_3 , KNO_3 + B e Sulfometuron metil + B, diferindo das plantas caracterizadas pela ausência da aplicação dos tratamentos (testemunha), as quais revelaram elevado teor de clorofila (a+b) (Tabela 6).

Na safra 2007 a aplicação do composto químico KNO_3 de forma isolada e do Sulfometuron metil combinado ao micronutriente proporcionou o maior conteúdo de compostos fenólicos totais pela análise da matéria seca da parte aérea (folhas) da cana-de-açúcar, diferindo dos tratamentos controle, Boro e Glifosate, enquanto na safra subsequente as plantas tratadas com os compostos químicos Glifosate e Sulfometuron metil + B apresentaram elevado conteúdo de compostos fenólicos totais, diferindo dos tratamentos Boro, KNO_3 , KNO_3 + B e Sulfometuron metil, os quais foram caracterizados por induzir valores estatisticamente inferiores aos tratamentos supracitados (Tabela 6).

Os dados contidos na Tabela 6 revelam o provável efeito residual dos produtos químicos e os diferentes mecanismos de ação sobre alguns componentes fisiológicos da rebrota da soqueira da cana-de-açúcar. Segundo PANTASTICO (1975) e HULME (1971), os fenômenos relacionados com o amadurecimento de frutos incluem degradação das clorofilas a e b, degradação de pigmentos subjacentes e síntese de novos pigmentos, como os carotenóides, com elevação no teor de sólidos solúveis. Produtos que desencadeiam, direta ou indiretamente, a síntese endógena de etileno, por consequência são capazes de acelerar a degradação desta clorofila e a síntese de carotenóides (CASAS et al., 1989).

O Glifosate refere-se ao agente químico inibidor da enzima enol-piruvil-chiquimato-fosfato-sintase [EPSPs, (E.C. 2.5.1.19)], a qual está presente na rota de síntese dos aminoácidos de cadeia aromática (fenilalanina, tirosina e triptofano). A inibição de

sua atividade bloqueia a síntese destes aminoácidos nos vegetais, ocasionando a inibição da síntese protéica e outros compostos aromáticos e produtos secundários importantes como vitaminas, hormônios, clorofila, fitoalexinas, alcalóides, lignina e antocianinas, acumulando um composto intermediário chamado chiquimato. O efeito estressante causado pela fitotoxidez estimula a produção de etileno, hormônio vegetal capaz de inibir o metabolismo de fosfolipídeos, aumentar a permeabilidade da membrana, causar perda de clorofila, inibir a divisão e a expansão celular e reduzir a síntese de DNA. Por fim, as possíveis associações destes eventos metabólicos culminam na paralisação do desenvolvimento vegetal (RODRIGUES, 1995; RIZZARD et al., 2004; RODRIGUES & LEITE, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2004; LEITE, 2005; NETTO, 2006).

Diversos trabalhos relatam que a clorofila é altamente sensível ao agente químico Glifosate e que a natureza aclorofílica do crescimento subsequente é uma notável característica das plantas que são expostas à dose subletal do herbicida, corroborando com as avaliações visuais dos campos experimentais e com os dados obtidos (Tabela 6) (WONG; 2000; SINGH, 2004). Também LEE (1981) concluíram que a diminuição da clorofila em folhas de *Cyperus rotundus* foi precedida pelo declínio de carotenóides e ocorreu somente sob iluminação.

Todavia, ressalta-se que associado aos tratamentos empregados, possivelmente outros fatores são capazes de afetar a produção de clorofila, antocianinas, e carotenóides (Tabela 6), dentre os quais a disponibilidade luminosa e de nitrogênio.

Segundo ENGEL & POGGIANI (1991), a eficiência fotossintética está ligada ao teor de clorofila das plantas, afetando o crescimento e influenciando a adaptabilidade das mesmas aos diversos ambientes. Em presença da luz é constantemente sintetizada e destruída pelo processo da foto-oxidação, sendo que a velocidade de decomposição é diretamente proporcional à intensidade luminosa muito alta, causando dessa forma prejuízos para a fotossíntese. Também GODOY et al. (2008) observaram que a variação da irradiância solar pode influenciar a redução do índice relativo de clorofila com o decorrer do ciclo da cultura do café, pois com aumento da disponibilidade de luz, há menor necessidade de produção de clorofila, corroborando com CARELLI et al. (2006), os quais constataram que as folhas de cafeeiro têm a capacidade de se adaptar a alterações na disponibilidade de irradiância.

Além de presente em biomoléculas fundamentais, como proteínas e aminoácidos, o N é constituinte das clorofilas (MENGEL & KIRBY, 1987). A estrutura das clorofilas *a* e *b* é, basicamente, a mesma. Compõem-se da porção porfirina, constituída de quatro anéis de pirrol ligados por pontes de carbono-hidrogênio. O íon metálico Mg está inserido no centro da porfirina (MAGALHÃES, 1985). O ácido δ -aminolevulínico, um aminoácido não protéico, cuja via de biossíntese tem como precursor inicial o glutamato, é a molécula precursora da clorofila (KANNANGARA, 1991). Portanto, a disponibilidade de N orgânico na forma de glutamato pode influenciar fortemente a capacidade fotossintética das plantas.

Os compostos fenólicos são metabólicos secundários produzidos pelas plantas sem apresentarem função direta no seu crescimento e desenvolvimento, porém são fundamentais para o metabolismo vegetal (STRACK, 1997), cuja principal função está associada com a defesa vegetal contra fatores externos, bióticos e abióticos, pois se trata de um mecanismo de resistência bioquímico pré-formado pela planta (PASCHOLATI & LEITE, 1994), destacando-se dentro das classes mais importantes de compostos fenólicos a lignina, os flavonóides e os taninos (TAIZ & ZEIGER, 2004). Portanto, os resultados referentes ao teor de fenóis totais (Tabela 6) podem ser explicados pelos fatores supracitados, ou seja, agentes químicos e respectivos mecanismos de ação, estado nutricional da planta e condição climática.

Tabela 5. Rebrotas da soqueira da cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito de maturadores, associados ou não ao boro, aos 60 dias após a colheita (DAC). Igaraçu do Tietê, SP, safras 2007/2008.

Tratamento	Rebrota	
	Número de brotos metro ⁻¹	
	60 DAC	
	Safra 2007	Safra 2008
Testemunha	9,0 b	11,0 b
Boro (B)	10,0 ab	12,0 ab
Glifosate	10,0 ab	12,0 ab
KNO ₃	11,0 a	12,0 ab
Sulfometuron metil	10,0 ab	14,0 a
Glifosate + B	10,0 ab	13,0 ab
KNO ₃ + B	11,0 a	13,0 ab
Sulfom. metil + B	9,0 b	13,0 ab
CV (%)	4,74	8,56

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 10% de probabilidade.

Tabela 6. Antocianinas, carotenóides, clorofila (a+b) e fenóis totais nas folhas da soqueira (rebrotada) da cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito de maturadores, associados ou não ao boro, aos 60 dias após a colheita (DAC). Igarapu do Tietê, SP, safras 2007/2008.

	Antocianinas	Carotenóides	Clorofila (a + b)	Fenóis totais
	(µg g ⁻¹ matéria fresca)		(µg ácido gálico mg ⁻¹ matéria seca)	
Tratamentos	Safr 2007 – 60 DAC			
Testemunha	0,30 a	0,16 ab	0,69 abc	121,70 c
Boro (B)	0,35 a	0,16 ab	0,54 c	122,78 bc
Glifosate	0,29 a	0,15 ab	0,61 bc	121,78 c
KNO ₃	0,30 a	0,16 ab	0,67 abc	129,78 a
Sulfom. metil	0,29 a	0,14 b	0,57 bc	124,60 abc
Glifosate + B	0,37 a	0,17 ab	0,71 ab	128,53 ab
KNO ₃ + B	0,35 a	0,18 a	0,72 ab	127,93 ab
Sulfom. metil + B	0,35 a	0,17 ab	0,82 a	129,20 a
CV (%)	10,97	10,78	9,70	2,20
Tratamentos	Safr 2008 – 60 DAC			
Testemunha	0,19 ab	0,14 a	0,62 a	130,68 ab
Boro (B)	0,14 bcd	0,13 ab	0,53 bc	113,30 cd
Glifosate	0,18 ab	0,11 ab	0,45 de	133,88 a
KNO ₃	0,09 d	0,09 b	0,37 e	121,90 bc
Sulfom. metil	0,14 bcd	0,14 a	0,56 ab	107,63 d
Glifosate + B	0,21 a	0,14 a	0,55 ab	128,73 ab
KNO ₃ + B	0,10 cd	0,12 ab	0,49 bcd	114,63 cd
Sulfom. metil + B	0,15 bc	0,11 ab	0,48 cd	134,91 a
CV (%)	14,16	12,18	6,37	3,43

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10 % de probabilidade.

6.1.2 Maturadores associados a silício aplicados via foliar em cana-de-açúcar

6.1.2.1 Atividade das enzimas invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no caldo do terço superior do colmo

Na interação entre maturadores (aplicados de forma isolada ou associados ao silício) x épocas de amostragem (DAA) nas safras 2007 e 2008 constata-se que, de modo geral, os níveis da SAI foram superiores aos níveis da NI e para cada época de amostragem a aplicação isolada dos maturadores diferiu da associação com o silício, sendo que independente da safra os tratamentos revelaram comportamentos distintos em promover a atividade dessas enzimas (Figura 17 e 18).

Os resultados podem ser explicados pelos diferentes mecanismos de ação dos compostos químicos aplicados, associados ou não ao elemento, aliado às condições climáticas no período (Figura 1), corroborando com os obtidos por LEITE (2005), por outro lado, VIEIRA et al. (1996a) observaram para a variedade NA56-79 que a atividade da isoenzima neutra predominou sobre a ácida.

A redução da disponibilidade hídrica nos meses subseqüentes à aplicação dos tratamentos associado ao declínio da temperatura a partir do mês de março persistente até o mês de julho favoreceram o processo de maturação natural da cana-de-açúcar na safra 2007 (Figura 1). Na safra 2008, embora tenha ocorrido decréscimo persistente na precipitação pluvial a partir do mês de março até o mês de julho acompanhado do declínio da disponibilidade térmica, com pequenas diferenças em relação à safra anterior, tais condições estimularam o desenvolvimento vegetativo da cultura (Figura 1). A cana-de-açúcar tem crescimento vegetativo ótimo com temperatura oscilando entre 28 e 34°C, enquanto para a ocorrência do processo de maturação natural, a planta é exigente em temperatura baixa (média mensal igual ou inferior a 21°C), para que haja repouso fisiológico e maior acúmulo de sacarose nos colmos, principalmente em regiões onde não há período de seca definido (CASTRO & KLUGE, 2001; ANDRADE, 2006).

Na safra 2007, com relação à aplicação dos maturadores associados ao silício, houve aumentos significativos na atividade da SAI com respostas quadráticas, sendo que para o Glifosate + Si, o KNO_3 + Si e o Sulfometuron metil + Si a resposta foi crescente até os 31 DAA (83,5 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 33 DAA (89,45 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) e 30 DAA (87,58 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), respectivamente (Figura 17), enquanto para a testemunha, o silício e o Glifosate houve decréscimo nos níveis da SAI até os 29, 30 e 24 DAA, cujos valores calculados foram 28,90, 34,43 e 44,55 μg de glicose g^{-1} matéria fresca, respectivamente. Quanto à aplicação do KNO_3 e Sulfometuron metil houve redução na atividade da SAI até os 20 DAA (41,85 e 39,79 μg de glicose g^{-1} matéria fresca, respectivamente) com posterior elevação até os 51 DAA (77,58 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) e 65 DAA (74,28 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), respectivamente (Figura 17).

Com relação à enzima NI, na safra 2007, a aplicação dos maturadores Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil associados ao silício induziram aumento da atividade até os 13 DAA (75,22 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 24 DAA (72,69 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) e 23 DAA (70,84 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), respectivamente (Figura 17). A aplicação isolada dos maturadores supracitados acarretou em decréscimo nos níveis enzimáticos até os 20 DAA, cujos valores calculados foram 24,37, 31,97 e 31,05 μg de glicose g^{-1} matéria fresca, respectivamente, com posterior incremento até os 50 DAA para o Glifosate e KNO_3 (54,74 e 63,17 μg de glicose g^{-1} matéria fresca, respectivamente) e até os 35 DAA (60,18 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) para o Sulfometuron metil (Figura 17). Por outro lado, para a maturação natural o ponto de mínima atividade da NI ocorreu aos 30 DAA (31,43 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), enquanto a aplicação do elemento silício isoladamente não apresentou efeito sobre tal enzima (Figura 17).

Na safra 2008, independente do tratamento, houve decréscimos significativos nos níveis enzimáticos da SAI com resposta expressa por modelo quadrático, enquanto para os níveis enzimáticos da NI o efeito foi inverso, sendo determinado comportamento linear com o transcorrer das épocas de amostragem, exceto pelo uso foliar do silício, o qual foi ajustado à modelo quadrático (Figura 18). Com relação à atividade da SAI, houve decréscimo até os 35 DAA (42,97 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 34 DAA (42,13 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 33 DAA (46,03 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 33 DAA (62,13 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 33 DAA (43,70 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 41

DAA (69,37 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 34 DAA (54,35 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) e 33 DAA (69,45 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) para os tratamentos controle, silício, Glifosate, Glifosate + Si, KNO_3 , KNO_3 + Si, Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + Si, respectivamente, com posterior incremento persistente até a colheita do experimento (Figura 18).

A atividade da SAI tem sido relacionada à necessidade da planta quanto à presença de açúcares, glicose e frutose, decorrente da hidrólise da sacarose para a manutenção do metabolismo, sendo tal atividade importante para a expansão celular dos tecidos imaturos (GAYLER & GLASZIOU, 1972; GIBEAUT et al., 1990; VIEIRA et al., 1996b). No entanto, outros autores têm relatado tendência de declínio dos níveis enzimáticos da SAI e crescente atividade da NI com o desenvolvimento fisiológico vegetal, estando tal relação ligada à capacidade de acumular sacarose (HATCH & GLASZIOU, 1963; RICARDO & SOVIA, 1974; VIEIRA et al., 1996a; LINGLE, 1999)

Os resultados mostrados nas Figuras 17 e 18 permitem inferir que com o transcorrer do tempo após a aplicação dos maturadores, a planta de cana-de-açúcar é capaz de retomar a taxa de crescimento natural, com maior ou menor intensidade, conforme as condições climáticas aliado à diminuição do efeito dos compostos químicos, de modo que para a manutenção do metabolismo, a planta demanda maiores quantidades de açúcares redutores, glicose e frutose, elevando a atividade da SAI, corroborando com outros autores (VIEIRA et al., 1996a, 1996b; LEITE, 2005; LEITE 2009a), com reflexo na altura das plantas (Tabela 8).

Por meio das Tabelas 17 e 18 é possível constatar o significativo impacto que os compostos químicos (Glifosate, Sulfometuron metil, KNO_3) causaram na atividade das enzimas SAI e NI, determinadas no caldo da cana-de-açúcar extraído do 1/3 superior dos colmos, sejam aplicados de forma isolada, sejam associados ao elemento silício. Nesse caso, é possível afirmar que tal associação provavelmente contribuiu para minimizar o efeito estressante dos produtos químicos e as conseqüências sobre a bioquímica e a fisiologia vegetal, tendo em vista os níveis estatisticamente superiores da SAI e da NI em relação ao uso isolado de tais produtos.

Poucas investigações sobre o papel do silício na cana de açúcar têm considerado o mecanismo pelo qual ele afeta a produção da tonelada de cana e açúcar. No

entanto, ALEXANDER et al. (1971) buscaram o entendimento da função que o elemento exerce na regulação da síntese, armazenamento e conservação da sacarose em cana-planta. Os autores supracitados descobriram que a inversão da sacarose em amostras de caldo de cana foi retardada por vários dias pelo uso de metassilicato de sódio, sugerindo que em baixos níveis o metassilicato de sódio é capaz de formar um complexo físico com o dissacarídeo, impedindo a união da enzima invertase com seu substrato. A frutose, produto da inversão da sacarose, é mantida sob outra configuração, evitando que o monossacarídeo seja metabolizado por microorganismos, garantindo sua preservação podendo constituir repressão bacteriana, aliado à ação inibitória da enzima invertase.

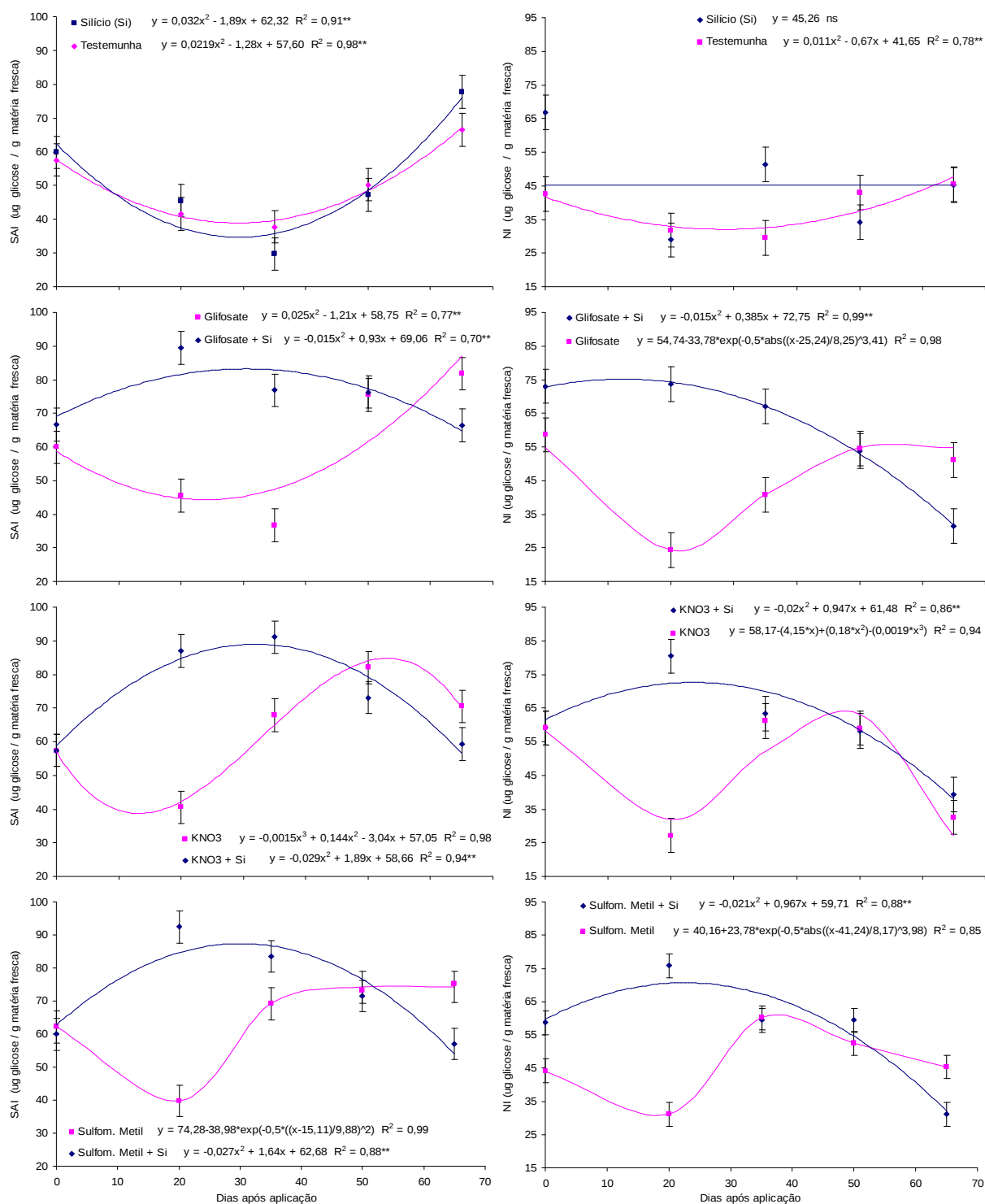


Figura 17. Atividade das invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarapu do Tietê (SP), safra 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

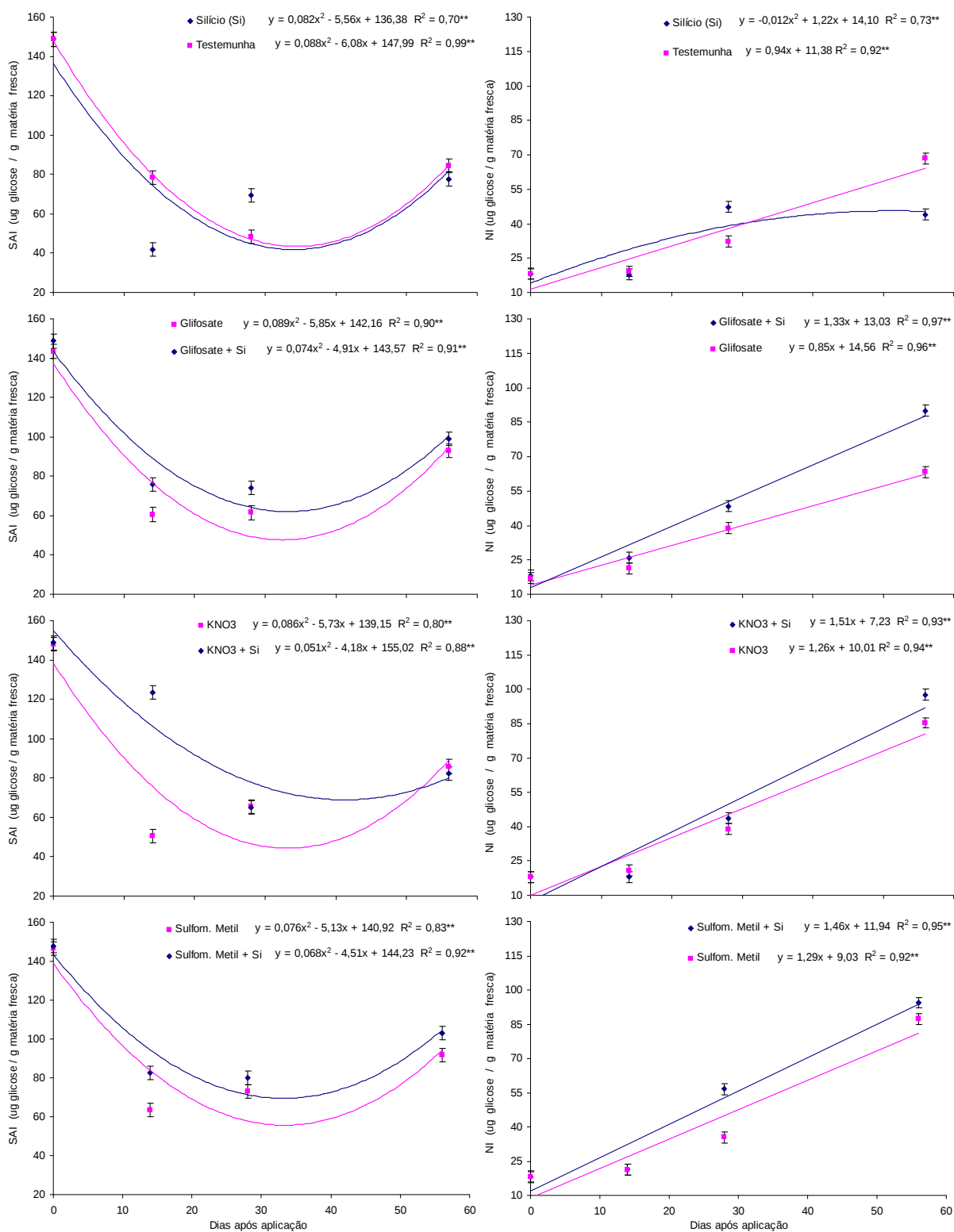


Figura 18. Atividade das invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarapu do Tietê (SP), safra 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

6.1.2.2 Teor de silício e potássio nas folhas da cana-de-açúcar

Na Figura 19 estão contidos os resultados referentes à determinação do elemento benéfico, silício, nas folhas da cana-de-açúcar (folha +3) conforme os tratamentos adotados e as épocas de avaliação. Na instalação do experimento não houve diferença significativa entre os tratamentos, contudo, a aplicação do silício, isolado ou associado aos maturadores, ocasionou aumento no teor do elemento na matéria seca das folhas da cana-de-açúcar, cujos valores foram, de forma geral, estatisticamente superior em comparação com os tratamentos caracterizados pela ausência do uso do mesmo.

Na safra 2007 e 2008 as plantas submetidas à aplicação do silício, isolado e associado ao composto químico KNO_3 , apresentaram resposta expressa por modelo quadrático positivo, crescente até os 22 DAA (1,22 %) e 35 DAA (1,36 %) para o tratamento com silício, enquanto para o $\text{KNO}_3 + \text{Si}$ o ponto de máximo ocorreu aos 24 DAA (1,37 %) e 34 DAA (2,01 %), respectivamente (Figura 19).

Por outro lado, independente da safra, foi determinado ajuste linear crescente para a associação silício com Glifosate, não sendo possível determinar dentro do período de amostragem o ponto de máximo teor do elemento nas folhas da cana-de-açúcar, contudo aos 36 DAA quantificou-se 1,32 e 2,43 % nas safras 2007 e 2008, respectivamente, diferindo estatisticamente das plantas controle (Figura 19).

Com relação à combinação do elemento com o maturador Sulfometuron metil determinou-se resposta expressa por modelo quadrático na safra 2007, cujo teor máximo calculado de silício ocorreu aos 27 DAA (1,49 %), e ajuste linear positivo na safra 2008, cujo teor calculado aos 36 DAA foi equivalente a 2,57 % (Figura 19).

Os resultados mostrados na Figura 19 quanto ao teor foliar de silício na cana-de-açúcar concordam com outros trabalhos encontrados na literatura, no entanto tais resultados evidenciam que a aplicação foliar do silício, isolado ou associado aos diferentes produtos químicos, mostrou-se eficiente em elevar os teores do elemento nas folhas (Figura 19), influenciando de forma significativa a bioquímica e a fisiologia da cana-de-açúcar, com reflexos nos parâmetros tecnológicos e biométricos.

Para ANDERSON & BOWEN (1992) nas folhas da cana-de-açúcar a presença do silício tem sido determinada em altas concentrações, podendo variar entre 0,14 %

a 6,7 % em folhas jovens e adultas respectivamente, sendo sugerido que o nível crítico de silício na matéria seca das folhas de cana (folha +1, na ausência da nervura principal) para o estado da Flórida seja superior a 1 % ou 10 g kg^{-1} , estando entre 1,50 % a 4,0 % o adequado nível de silício. No Brasil, KORNDÖRFER et al. (2000) verificaram que a cana-de-açúcar apresenta teores variáveis de silício nas folhas conforme a variedade, sendo encontrado os teores de 0,76 %, 1,04 % e 1,14 % de silício para as variedades RB72454, SP79-1011, SP71-6163, respectivamente.

O teor de potássio nas folhas da cana-de-açúcar para cada época de amostragem encontra-se na Tabela 7, sendo possível afirmar que a aplicação do silício, cujo produto comercial Fertilil, contendo segundo o fabricante 26 % de SiO_2 e 12 % K_2O , não induziu qualquer efeito significativo sobre o teor do macronutriente.

Na comparação dos resultados obtidos e mostrados na Tabela 7 com os teores foliares de K encontrados na literatura para a cultura da cana-de-açúcar, é possível constatar que, independente da safra, foi quantificado na matéria seca das folhas teores julgados abaixo e/ou próximos do nível crítico e adequado para a cultura, ou seja, 10 a 16 mg kg^{-1} , segundo RAIJ et al. (1996). Dessa forma é possível afirmar que não houve interferência do K nos resultados obtidos, sendo possível atribuir ao elemento silício as alterações fisiológicas e bioquímicas e suas implicações na produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.

Tabela 7. Teor de potássio (g kg^{-1} de matéria seca) nas folhas (folha +3) da cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito dos maturadores, associados ou não à aplicação de silício. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2007/2008.

Tratamentos	Potássio (g kg^{-1} de matéria seca)			
	Safr 2007			
	0 DAA ⁽¹⁾	12 DAA ⁽¹⁾	24 DAA ⁽¹⁾	36 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	15,32 a	11,78 a	12,40 a	10,75 a
Silício (Si)	14,54 a	11,98 a	12,10 a	10,93 a
Glifosate	14,98 a	12,33 a	11,78 a	11,58 a
KNO ₃	15,22 a	11,38 a	12,25 a	11,53 a
Sulfometuron metil	15,02 a	11,33 a	11,63 a	11,00 a
Glifosate + Si	14,65 a	11,60 a	10,65 a	11,98 a
KNO ₃ + Si	15,15 a	13,03 a	11,48 a	10,80 a
Sulfom. metil + Si	14,78 a	12,40 a	10,93 a	11,48 a
CV (%) = 4,85				
Tratamentos	Safr 2008			
	0 DAA ⁽¹⁾	12 DAA ⁽¹⁾	24 DAA ⁽¹⁾	36 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	11,77 a	11,33 a	8,95 a	10,13 a
Silício (Si)	9,90 a	11,20 a	9,10 a	10,30 a
Glifosate	10,20 a	10,80 a	9,70 a	10,50 a
KNO ₃	11,13 a	11,33 a	9,35	10,95 a
Sulfometuron metil	10,54 a	11,95 a	9,40 a	10,43 a
Glifosate + Si	10,87 a	10,45 a	10,38 a	10,57 a
KNO ₃ + Si	9,99 a	10,45 a	9,10 a	11,45 a
Sulfom. metil + Si	11,32 a	10,75 a	9,43 a	10,58 a
CV (%) = 8,08				

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10 % de probabilidade.

⁽¹⁾ Dias após a aplicação

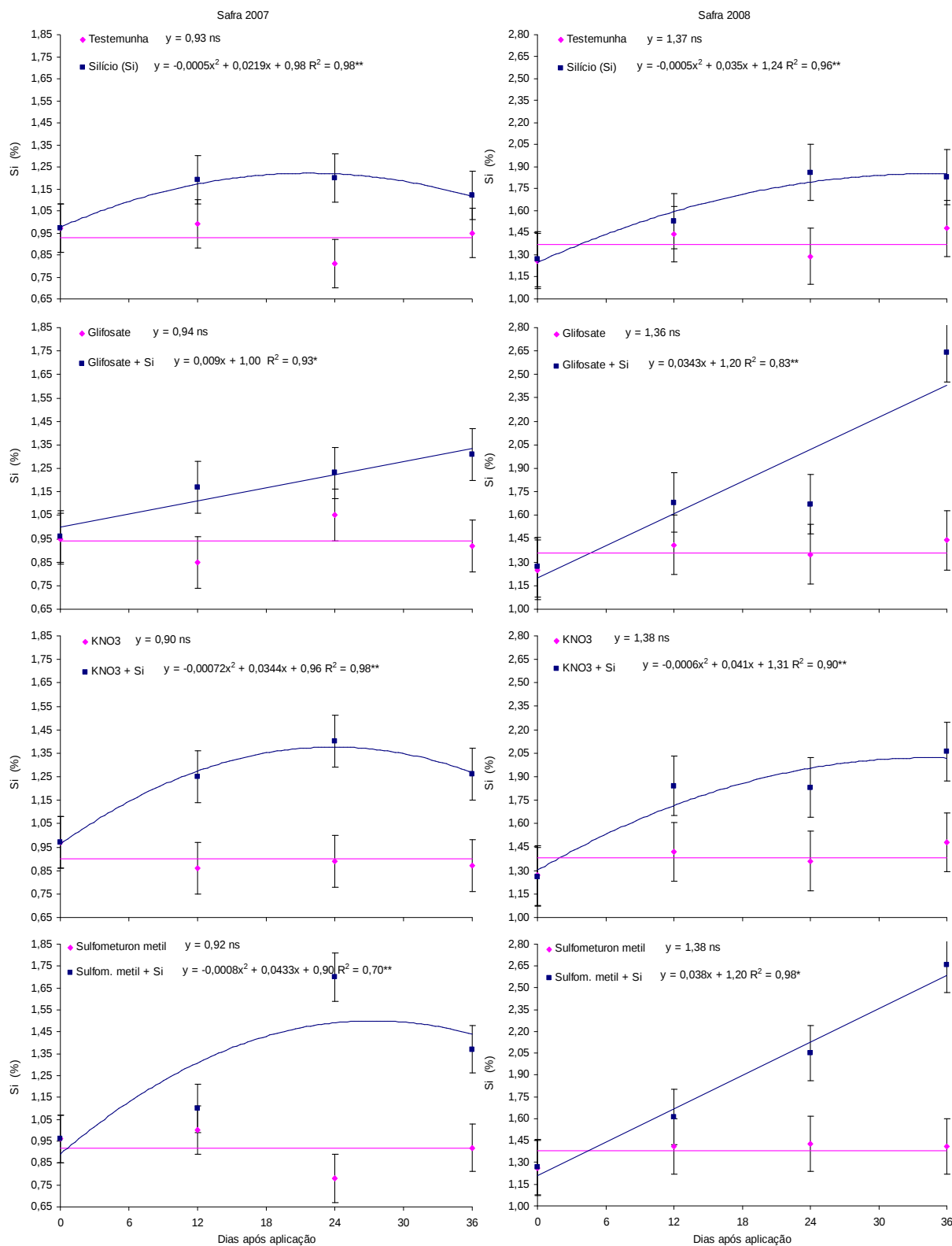


Figura 19. Teor de silício em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarapé do Tietê (SP), safras 2007/2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

6.1.2.3 Altura das plantas e diâmetro dos colmos

Os valores da altura das plantas e do diâmetro dos colmos para as duas safras de condução do experimento estão contidos na Tabela 8, não sendo determinada variações em nenhuma das variáveis na instalação do experimento.

Com relação à altura de plantas na colheita do experimento na safra 2007 (65 DAA), as plantas não tratadas com maturadores (maturação natural) apresentou a maior altura, sem diferir do tratamento com silício, todavia diferindo significativamente dos tratamentos Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + Si, os quais revelaram a menor altura de plantas, sem diferir dos tratamentos Glifosate e Glifosate + Si (Tabela 8).

Na safra 2008 aos 56 DAA determinou-se a maior altura de plantas na ausência da aplicação dos maturadores (maturação natural) e na presença de silício foliar, diferindo dos tratamentos com Glifosate, Glifosate + Si, Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + Si, cujas plantas revelaram a menor altura, enquanto as plantas submetidas à aplicação do composto químico KNO_3 e sua associação mostraram valores intermediários (Tabela 8).

Na comparação entre épocas na safra 2007, os tratamentos Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + Si foram eficientes em retardar o processo de crescimento em altura das plantas de cana-de-açúcar, enquanto na safra subsequente tal efeito pôde ser comprovado para os tratamentos Glifosate, Glifosate + Si, Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + Si (Tabela 8).

Com relação ao diâmetro dos colmos aos 65 DAA na safra 2007, determinou-se para o tratamento Sulfometuron metil valores significativamente superiores em relação ao KNO_3 e Glifosate + Si, sendo observado na comparação entre épocas que somente as plantas tratadas com Glifosate e KNO_3 não apresentaram alterações no diâmetro (Tabela 8). Por outro lado, não foi possível determinar efeito na comparação dos tratamentos dentro e entre épocas de avaliação sobre tal parâmetro (Tabela 8).

Os resultados elucidados na Tabela 1 corroboram em parte com os obtidos por ROMERO et al. (1998b), LEITE & CRUSCIOL (2008) e SIQUEIRA (2009), os quais relataram a paralisação temporária do desenvolvimento vegetativo com redução severa na altura das plantas de cana-de-açúcar, sem interferir no diâmetro dos colmos quanto às plantas tratadas com os agentes químicos Glifosato e Sulfometuron metil. Provavelmente tal

comportamento ocorreu pelo menor alongamento dos entrenós imaturos, uma vez que esses maturadores podem ocasionar a morte da gema apical, em razão de seu acúmulo nas regiões de crescimento ativo (meristemas), decorrente dos respectivos mecanismos de ação destes agentes químicos conforme descrito por diversos autores (RIZZARD et al., 2004; RODRIGUES & LEITE, 2004).

O nitrato de potássio (KNO_3) também tem sido utilizado como agente maturador em cana-de-açúcar decorrente da inibição temporária ou redução do ritmo de crescimento vegetativo, uma vez que se caracterizam por ocasionar injúria (ou estresse) química, capaz de estimular a síntese endógena do hormônio vegetal etileno e suas implicações fisiológicas, como, por exemplo, a restrição do crescimento em altura dos colmos decorrente do menor alongamento e, possivelmente, o engrossamento dos entrenós, tendo em vista que a produção deste pela planta é favorecida por diversos fatores, sejam eles bióticos, abióticos ou xenobióticos (RODRIGUES, 1995; CASTRO et al., 2001; HARO et al., 2001; RODRIGUES & LEITE, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2004; LEITE, 2005; LEITE et al., 2009c).

Os dados referentes aos parâmetros biométricos mostrados na Tabela 8, seja pelo uso foliar do silício isolado ou associado aos compostos químicos, considerando o estímulo na produção de etileno endógeno ocasionado por tais compostos (estresse fitotóxico) pode ser explicado, conforme EPSTEIN (1999), pela capacidade do silício em promover o crescimento em diversas espécies vegetais devido à melhoria da resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos, tais como o ataque de patógenos e herbívoros, alumínio e outros metais tóxicos, salinidade e estresse hídrico.

MORI et al. (1999) confirmaram a universalidade dos efeitos do silício sobre o crescimento do arroz, trigo e aveia, atribuindo tal efeito sob condições de estresse, à incorporação do elemento na parede celular e sua contribuição para seu reforço. HOSSAIN et al. (2002) concluíram que a aplicação de silício estimulou o alongamento celular, mas não a divisão, decorrente do aumento significativo da extensibilidade da parede celular em folhas de plantas de arroz, trigo e aveia, corroborando com LU & NEUMANN (1999), os quais determinaram a correlação entre a taxa de crescimento e a extensibilidade da parede celular em folhas de arroz. Também WANG & GALLET (1998) enfatizaram que o significativo crescimento de certas espécies de gramas quando adubadas com silício é devido ao aumento da elasticidade do tecido e ao maior volume de água no simplasto. Em geral, a extensibilidade

da parede celular é o principal parâmetro que determina a taxa de alongação celular (KAWAMURA et al., 1995; SOGA et al., 1999). Segundo TAKAHASHI (1996), em plantas de arroz, a maior expansão foliar determinou a maior taxa de assimilação de CO₂ por planta, podendo induzir a maior translocação de assimilados para a produção de grãos, aumentando a produtividade.

Tabela 8. Altura das plantas e diâmetro dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito de maturadores, associados ou não ao silício, na instalação e na colheita do experimento. Igarapu do Tietê, SP, safras 2007 e 2008.

Tratamentos	Safr 2007		Safr 2008	
	0 DAA ⁽¹⁾	65 DAA ⁽¹⁾	0 DAA ⁽¹⁾	56 DAA ⁽¹⁾
	Altura das plantas (metros)			
Testemunha	2,37 aB	2,78 aA	2,08 aB	2,67 aA
Silício (Si)	2,30 aB	2,68 abA	2,02 aB	2,61 aA
Glifosate	2,29 aB	2,51 bcA	2,05 aA	2,23 cA
KNO ₃	2,30 aB	2,57 abcA	2,03 aB	2,51 bA
Sulfometuron metil	2,35 aA	2,40 cA	2,04 aA	2,31 cA
Glifosate + Si	2,28 aB	2,52 bcA	2,02 aA	2,25 cA
KNO ₃ + Si	2,29 aB	2,56 abcA	2,04 aB	2,47 bA
Sulfom. Metil + Si	2,29 aA	2,37 cA	2,03 aA	2,26 cA
CV (%)	4,72		6,03	
Diâmetro dos colmos (milímetros)				
Testemunha	30,32 aB	31,83 abA	31,51 aA	32,83 aA
Silício (Si)	29,78 aB	32,20 abA	31,81 aA	32,02 aA
Glifosate	30,65 aA	31,54 abA	31,76 aA	32,39 aA
KNO ₃	29,97 aA	30,44 bA	30,97 aA	31,48 aA
Sulfometuron metil	29,55 aB	33,10 aA	31,21 aA	31,91 aA
Glifosate + Si	28,65 aB	30,51 bA	30,63 aA	32,30 aA
KNO ₃ + Si	29,96 aB	31,21 abA	30,97 aA	31,97 aA
Sulfom. metil + Si	30,53 aB	32,60 abA	31,76 aA	32,61 aA
CV (%)	4,20		5,48	

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10 % de probabilidade.

⁽¹⁾ Dias após a aplicação.

6.1.2.4 Parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar referentes ao 1/3 superior e aos 2/3 inferiores (porção mediana e basal) dos colmos

Nas Figuras 20 a 23 encontram-se os resultados obtidos para os parâmetros tecnológicos no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar, sendo possível constatar interação significativa para os tratamentos e épocas de amostragem.

De modo geral, nas safras 2007 e 2008, embora com magnitude variável, a aplicação foliar de Silício associado aos maturadores Glifosate e Sulfometuron metil em comparação ao uso isolado destes compostos químicos favoreceu positivamente o processo de acúmulo de sacarose na porção apical dos colmos da cana-de-açúcar. Contudo, o uso foliar do elemento, de forma isolada ou associada ao agente químico KNO_3 , não produziu alteração significativa sobre tal processo em comparação ao controle e ao emprego do composto supracitado (Figura 20).

Os tratamentos elevaram os teores de sacarose no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar com o transcorrer das épocas de amostragem, sendo determinado ajuste linear para a testemunha e KNO_3 na safra 2007 e, na safra 2008 para a maturação natural, Silício, Glifosate, KNO_3 , $\text{KNO}_3 + \text{Si}$ e Sulfometuron metil (Figura 20). Por outro lado, em 2007 a aplicação de Silício, Glifosate, Glifosate + Si, $\text{KNO}_3 + \text{Si}$, Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + Si induziram aumento significativo de sacarose com reposta quadráticas e crescente até 97 DAA, 102 DAA, 59 DAA, 114 DAA, 108 DAA e 64 DAA, cujos teores calculados foram 8,49 %, 10,37 %, 8,01 %, 8,98 %, 12,42 % e 9,73 %, respectivamente; enquanto na safra subsequente, na associação do silício com Glifosate e Sulfometuron metil houve incremento até os 71 DAA (12,09 %) e 64 DAA (8,77 %), respectivamente (Figura 20).

Pelos resultados mostrados na Figura 21, 22 e 23 é possível constatar que os tratamentos adotados produziram comportamentos distintos quanto aos parâmetros tecnológicos pureza do caldo, açúcares redutores e fibra no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar, não sendo constatado efeito significativo na comparação entre os tratamentos silício e maturação natural, maturadores e suas respectivas associações com o elemento.

Para a pureza do caldo, na safra 2007, foi determinado ajuste linear crescente para a maturação natural e Glifosate + Si, enquanto na safra posterior tal ajuste ocorreu para o controle, Silício, Glifosate, KNO_3 , $\text{KNO}_3 + \text{Si}$ e Sulfometuron metil (Figura

21). Na safra 2007 houve aumentos significativos na pureza do caldo com resposta quadrática através do uso de Silício, Glifosate, KNO_3 , $\text{KNO}_3 + \text{Si}$, Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + Si com máximo valor calculado aos 62 DAA (67,02 %), 66 DAA (72,61 %), 87 DAA (72,37 %), 73 DAA (66,33 %), 63 DAA (77,82 %) e 56 DAA (74,41 %), respectivamente. Na safra 2008 o incremento ocorreu até os 71 DAA (87,15 %) e 59 DAA (75,35 %) para os tratamentos Glifosate + Si e Sulfometuron metil + Si, respectivamente (Figura 21).

Com relação ao teor de açúcares redutores no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar os tratamentos proporcionaram decréscimos até a colheita, sendo determinado respostas quadrática negativa independente do tratamento e da safra, exceto para a maturação natural e Glifosate na safra 2008, com ajuste linear decrescente (Figura 22). No primeiro ano de condução do experimento, com ajuste quadrático, o ponto de mínimo calculado ocorreu aos 104 DAA (0,80 %), 81 DAA (0,84 %), 69 DAA (0,91 %), 57 DAA (1,06 %), 96 DAA (0,83 %), 75 DAA (1,12 %), 63 DAA (0,80 %) e 56 DAA (0,87 %) para os tratamentos controle, Silício, Glifosate, Glifosate + Si, KNO_3 , $\text{KNO}_3 + \text{Si}$, Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + Si, respectivamente (Figura 22). Na safra 2008 tal comportamento ocorreu aos 67 DAA (0,54 %) e 60 DAA (0,85 %) para os tratamentos Glifosate + Si e Sulfometuron metil + Si, respectivamente, enquanto para a aplicação de Silício, KNO_3 e $\text{KNO}_3 + \text{Si}$ constatou-se elevação nos níveis de açúcares redutores até os 7 DAA (1,57 %), 2 DAA (1,67 %) e 6 DAA (1,65 %), respectivamente, com posterior declínio (Figura 22).

De forma geral, os tratamentos adotados, quanto ao teor de fibra no terço superior dos colmos no primeiro ano de condução do experimento, foram ajustados à modelos lineares crescentes, com exceção para a aplicação de KNO_3 e Sulfometuron metil nas safras 2007 e 2008 respectivamente, os quais foram ajustados à modelos quadráticos, com decréscimo no teor de fibra até os 10 DAA (11,44 %) para o KNO_3 seguido de incremento e para o Sulfometuron metil aumento até os 40 DAA (13,41 %) com posterior redução. Todavia, não houve efeito significativo sobre tal parâmetro tecnológico na comparação entre os tratamentos silício e testemunha (maturação natural) e maturadores isolados e associados ao elemento (Figura 23).

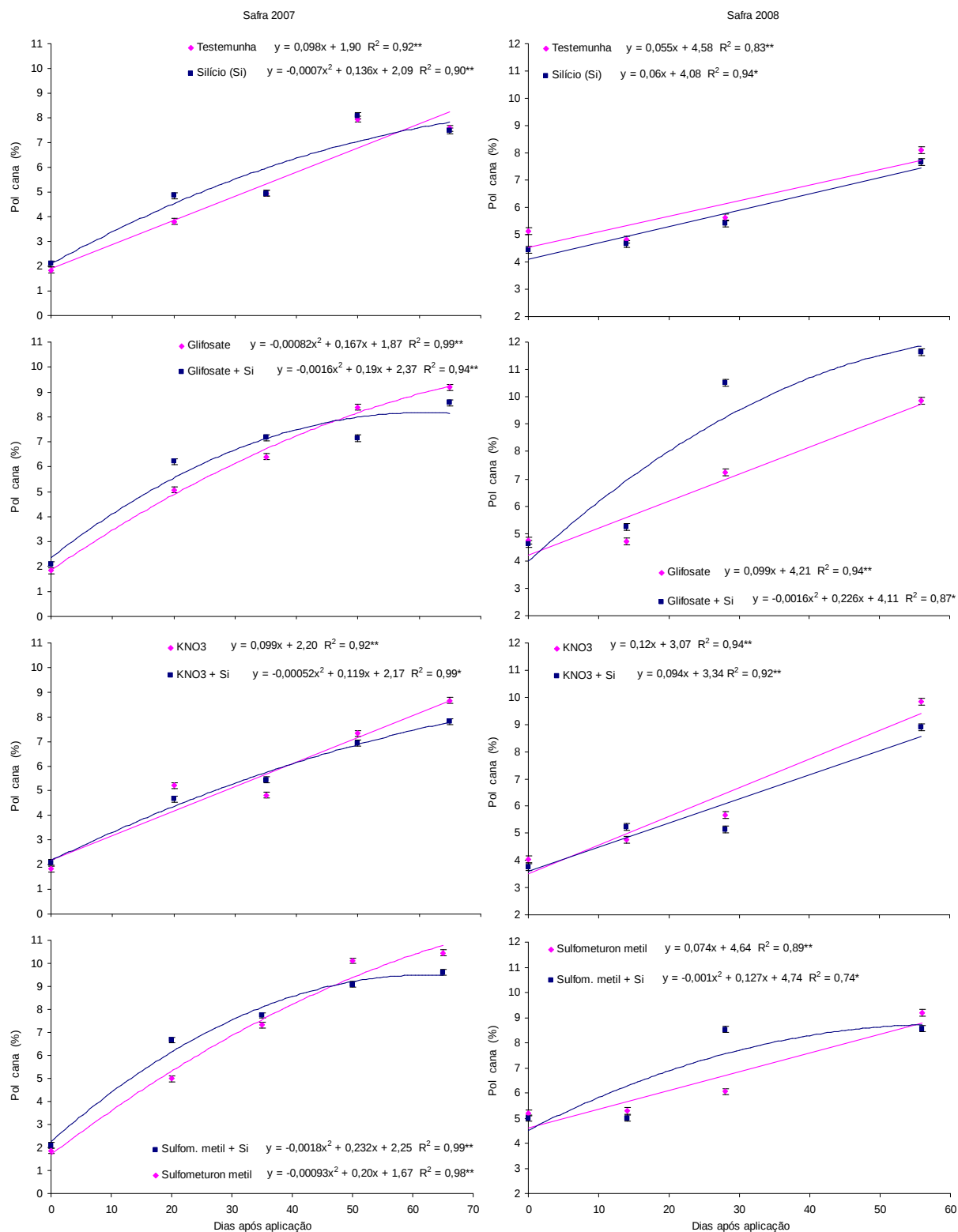


Figura 20. Pol. cana (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarapu do Tietê (SP), safras 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

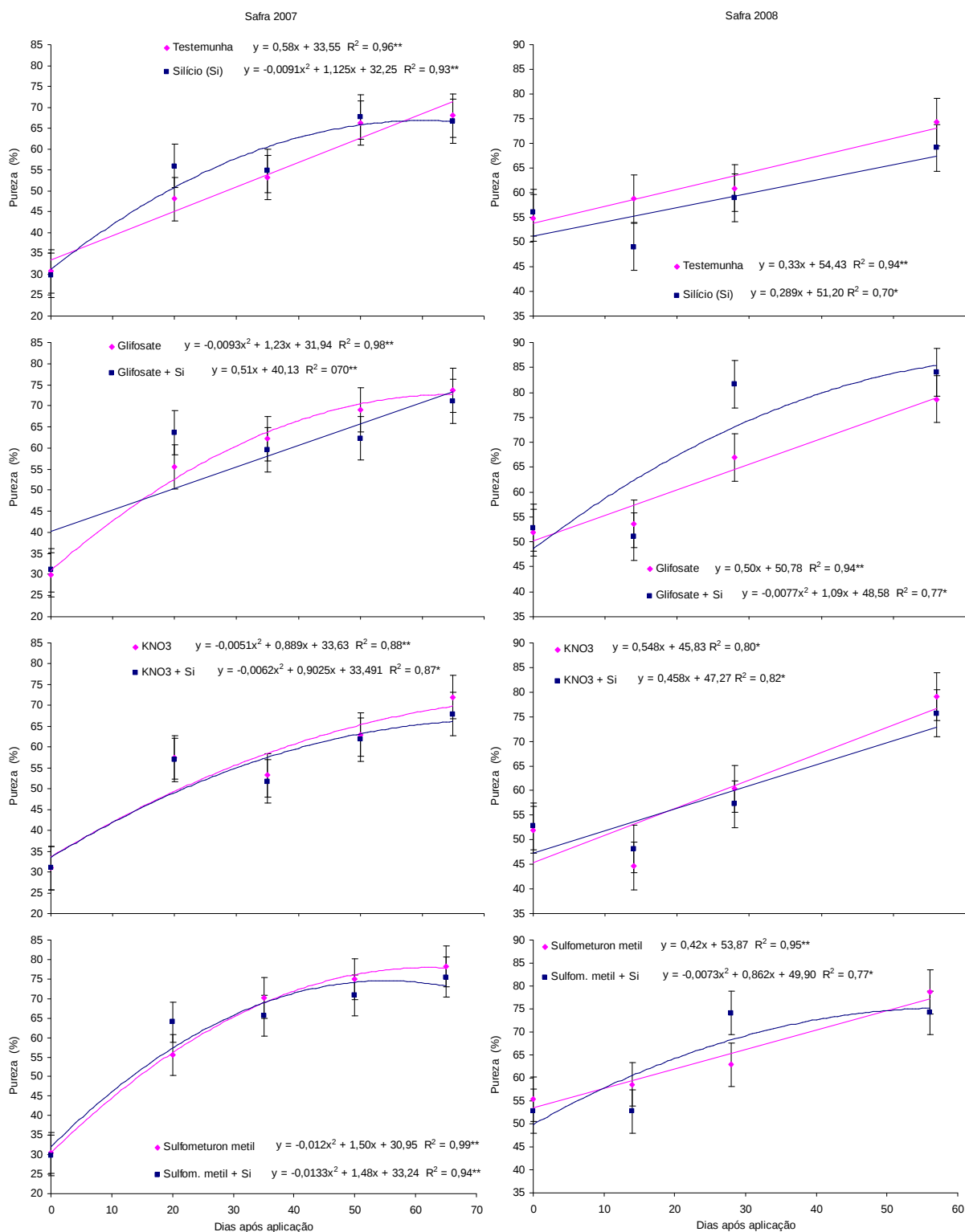


Figura 21. Pureza caldo (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarau do Tietê (SP), safras 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

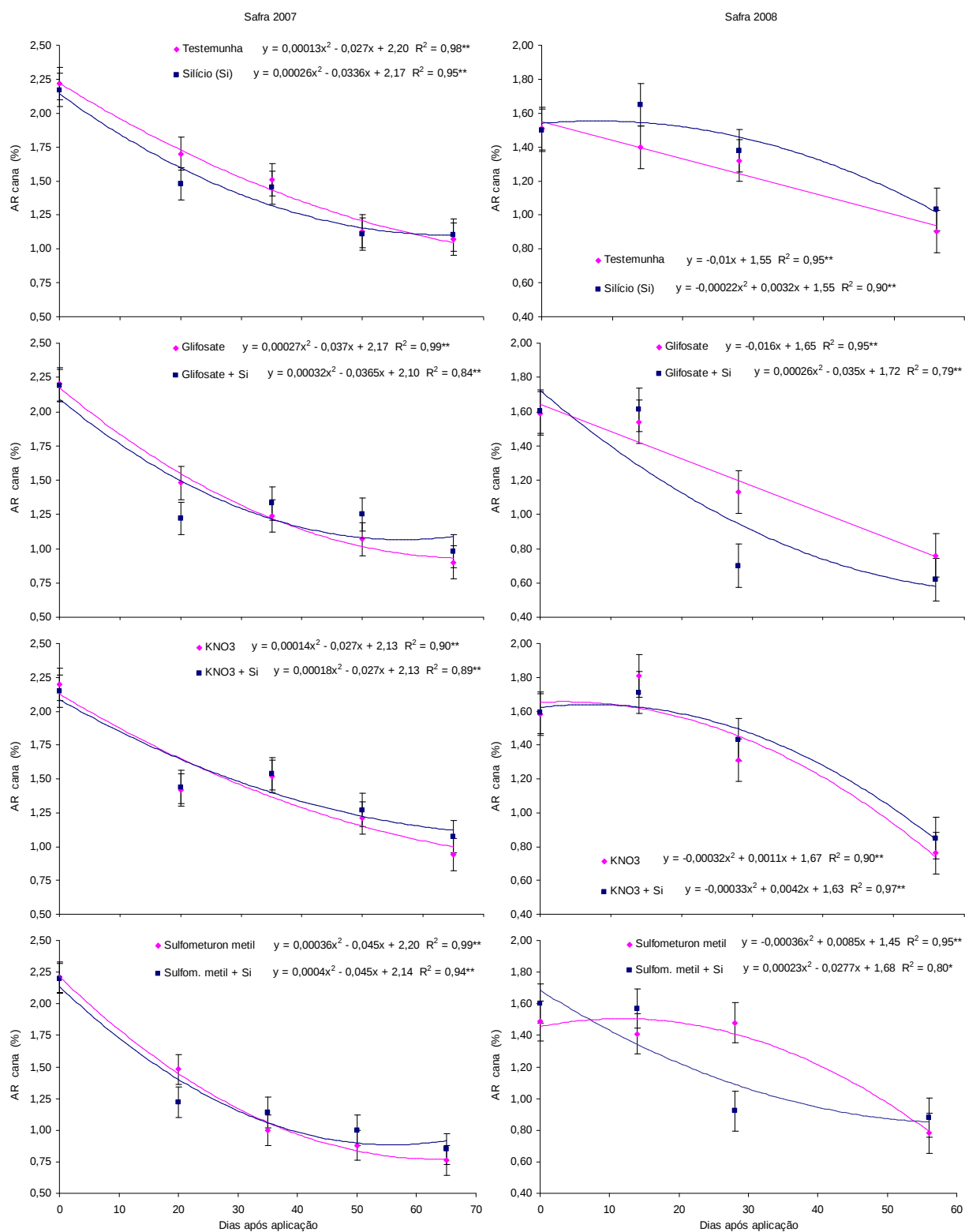


Figura 22. Açúcares redutores cana (AR cana, %) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarapu do Tietê (SP), safras 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

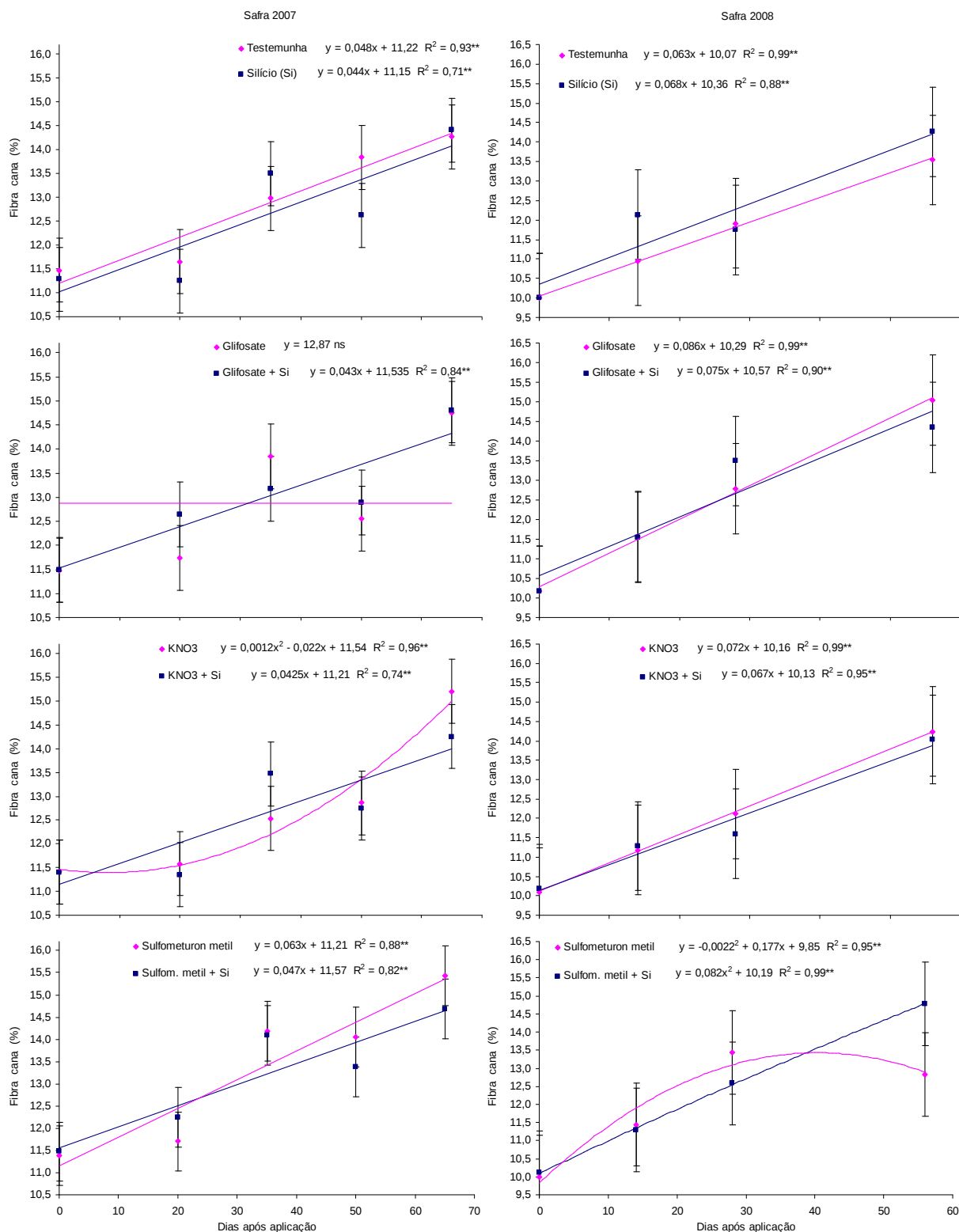


Figura 23. Fibra cana (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarapu do Tietê (SP), safras 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

De forma geral, por meio da Figura 24, no desdobramento dos tratamentos dentro das épocas de amostragem, é possível afirmar diferença estatística para o silício x controle e para os maturadores isolados x maturadores associados ao elemento.

Na Figura 24 encontram-se os resultados obtidos para o parâmetro tecnológico pol cana nos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar, sendo possível constatar interação significativa entre os tratamentos e as épocas de amostragem, sendo determinada respostas com ajustes à distintos modelos matemáticos, isto é, lineares crescentes na safra 2007 todos os tratamentos, com exceção para o Sulfometuron metil + Si, que apresentou comportamento quadrático positivo, enquanto na safra 2008 tal modelo foi ajustado para os tratamentos Glifosate + Si e controle, sendo que os demais tratamentos apresentaram resposta linear positiva.

No primeiro ano de condução do experimento a aplicação de Silício em relação à maturação natural incrementou de forma significativa o teor de sacarose na porção basal e mediana dos colmos somente aos 50 DAA, cujos valores calculados foram 15,80 % e 15,59 % respectivamente. Quanto à associação do elemento com os agentes químicos Glifosate e KNO_3 em comparação ao uso isolado destes últimos, aumento significativo foi obtido aos 20 DAA, cujos valores calculados foram 14,00 %, 13,86 %, 13,75 %, 13,62 %, respectivamente. Para a combinação do silício com o Sulfometuron metil houve elevação significativa nos teores de pol aos 20 DAA e 35 DAA, cujos valores foram 14,14 % e 15,45 %, sendo obtido para o uso isolado do maturador valores de 13,78 % e 15,16 %, respectivamente (Figura 24).

No segundo ano de condução do experimento, a aplicação foliar de silício e sua associação com o composto químico KNO_3 mostrou-se desfavorável ao processo de acúmulo de sacarose nos 2/3 inferiores dos colmos em relação à maturação natural e ao uso isolado do KNO_3 . Por outro lado, a combinação do elemento com os maturadores Glifosate e Sulfometuron metil induziu maiores valores de pol, cujos valores calculados superaram estatisticamente os valores obtidos através da aplicação isolada dos mesmos agentes químicos, cujos teores calculados foram 15,57 % e 14,53 % aos 28 DAA para o Glifosate + Si e Glifosate, 14,10 % e 16,67 % aos 14 e 56 DAA para o Sulfometuron metil + Si e 13,99 % e 16,30 % para o Sulfometuron metil nas mesmas épocas, respectivamente. Para os tratamentos

controle e Glifosate + Si o ponto calculado de máximo acúmulo de sacarose ocorreu aos 45 DAA e 38 DAA, cujos valores de pol foram 15,60 % e 15,82 %, respectivamente (Figura 24).

Para os demais parâmetros tecnológicos, pureza do caldo, açúcares redutores cana e fibra cana, determinados na porção basal e mediana dos colmos, pelo desdobramento dos tratamentos dentro de cada época de amostragem (DAA), é possível afirmar que não houve diferença significativa entre o uso do elemento, isolado ou combinado aos maturadores, assim como em relação à maturação natural (Figuras 25 a 27).

Com relação à pureza do caldo na safra 2007 os tratamentos revelaram tendência linear crescente com o transcorrer das épocas de amostragem, não sendo possível determinar o ponto de máximo dentro do período de amostragem adotado. No entanto, na safra 2008 os tratamentos foram ajustados à modelos quadráticos com máximo valor aos 33 DAA e 39 DAA para o controle (89,60 %) e Silício (90,23 %), respectivamente, aos 36 DAA e 32 DAA para o Glifosate (89,67 %) e Glifosate + Si (89,65 %), respectivamente, aos 36 DAA e 33 DAA para o KNO_3 (89,92 %) e KNO_3 + Si (88,71 %), respectivamente, aos 35 DAA e 37 DAA para o Sulfometuron metil (89,53 %) e Sulfometuron metil + B (90,29 %) (Figura 25).

Os teores de glicose e frutose (AR cana) são mostrados na Figura 26, determinando-se tendência inversa ao observado para o parâmetro pureza do caldo, ou seja, linear decrescente na safra 2007 e, na safra subsequente, ajuste à modelos quadráticos negativos com pontos de mínimo definidos. Na safra 2008 houve redução dos níveis de AR cana até os 32 DAA e 38 DAA para a maturação natural e Silício (0,49 % e 0,47 %, respectivamente), aos 36 DAA e 32 DAA para o Glifosate e Glifosate + Si (0,40 % e 0,49 %, respectivamente), aos 35 DAA e 32 DAA para o KNO_3 e KNO_3 + Si (0,47 % e 0,52 %, respectivamente) e aos 35 DAA e 41 DAA para o Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + Si (0,48 % e 0,47 %, respectivamente), com posterior incremento.

Os dados referentes aos teores de fibra da cana-de-açúcar na porção basal e mediana dos colmos da cana-de-açúcar estão contidos na Figura 27, sendo possível afirmar que, de modo geral, os tratamentos pouco influenciaram tal parâmetro. Na safra 2007 a maturação natural revelou decréscimo nos valores de fibra até os 37 DAA, cujo valor calculado foi de 11,12 %, com posterior aumento até a colheita do experimento; enquanto na safra 2008 os tratamentos Glifosate, Glifosate + Si, KNO_3 , KNO_3 + Si e Sulfometuron metil + Si foram ajustados à modelos quadráticos, cujo ponto de máximo foi definido aos 33 DAA, 30

DAA, 30 DAA, 32 DAA e 30 DAA, cujos valores 11,60 %, 12,29 %, 11,73 %, 11,96 % e 11,57 %, com posterior decréscimo.

Diversas pesquisas têm revelado incremento da pol cana no 1/3 superior e nos 2/3 inferiores dos colmos em distintas variedades de cana-de-açúcar com reflexo positivo na pureza do caldo associado ao decréscimo dos açúcares redutores e teores variáveis de fibra, permitindo um desponte mais alto, contribuindo para o aumento da produtividade de cana sem comprometer a qualidade tecnológica da matéria-prima fornecida à indústria através do uso dos compostos químicos Glifosate e Sulfometuron metil (VILLEGAS & TORRES, 1993; ROMERO et al., 1996; ROMERO et al., 1998; ROMERO et al., 2000; CASTRO et al., 2001; FERNANDES et al., 2002; LEITE, 2005; VIANA et al., 2008; LEITE et al., 2009a, 2009c; SIQUEIRA, 2009). Segundo ROMERO et al. (2003) a aplicação de Glifosate induz ao aumento significativo do conteúdo de sacarose em todas as seções do colmo da cana-de-açúcar, com máximo incremento relativo na porção apical, enquanto para GALDIANO (2008), LEITE et al. (2009c) e CASTRO et al. (2002) o teor de fibra não foi afetado pela aplicação de diferente maturadores.

Segundo BARBOSA et al. (2007) existe uma correlação negativa entre o teor de fibra e o teor de açúcar, principalmente em variedades precoces, as quais são mais ricas em sacarose e, apresentam, em geral, teor de fibra menor, de modo que, no que tange à quantidade ideal de fibras, a mesma deve encontrar-se entre 12 a 13 %, a fim de que não se comprometa a quantidade disponível de bagaço para queima no início da safra.

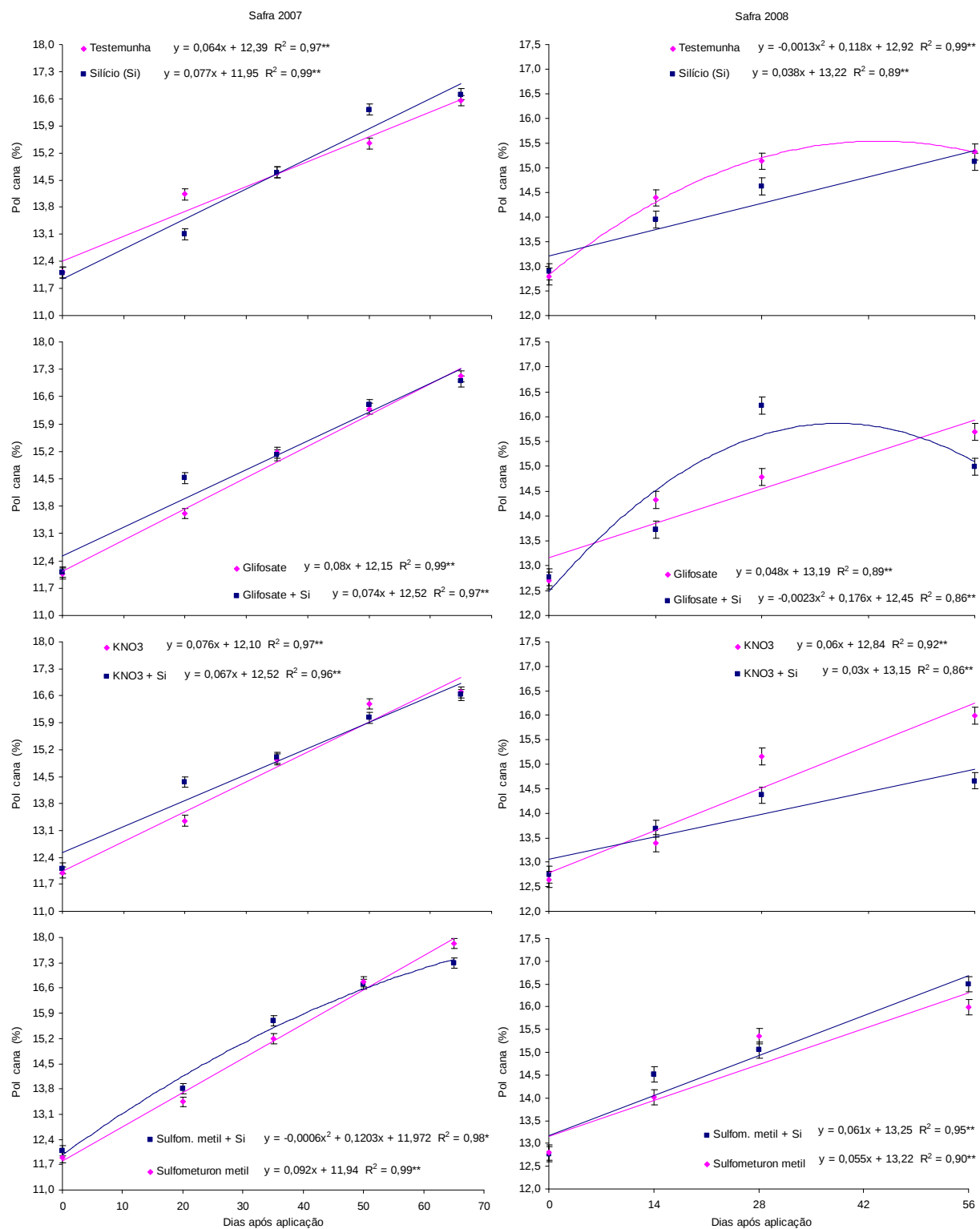


Figura 24. Pol cana (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarau do Tietê (SP), safras 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

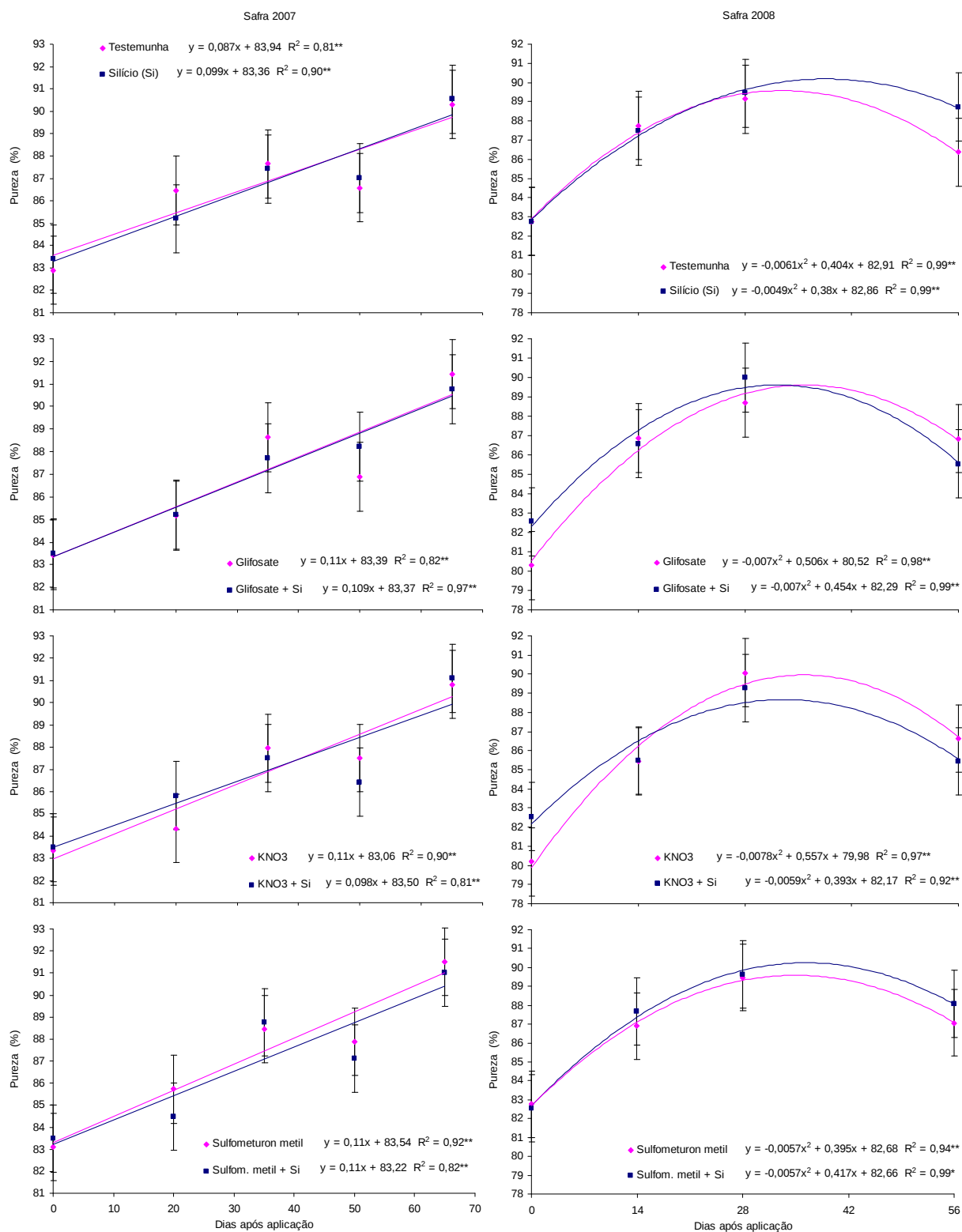


Figura 25. Pureza caldo (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarapu do Tietê (SP), safras 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

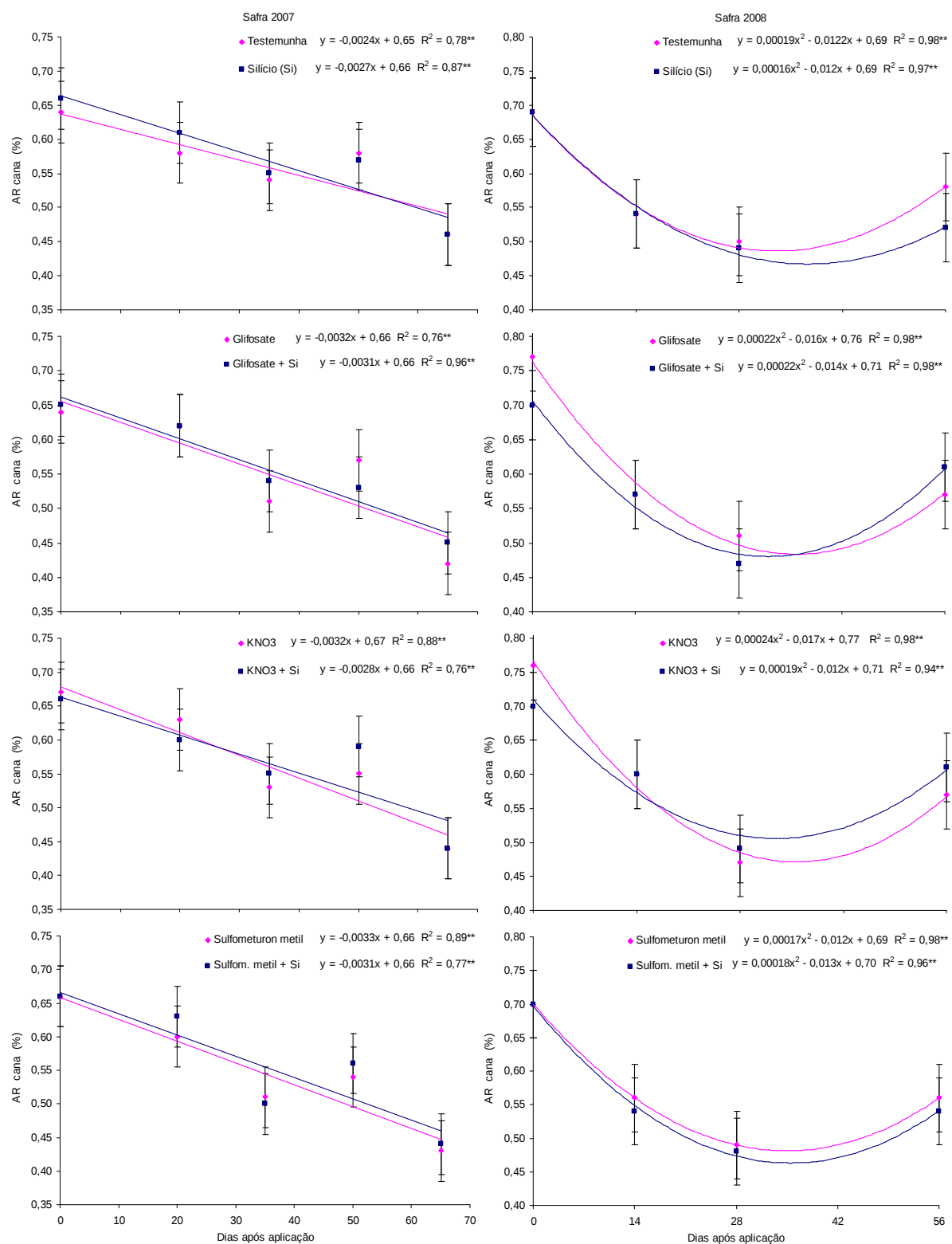


Figura 26. Açúcares redutores (AR cana, %) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarapu do Tietê (SP), safras 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

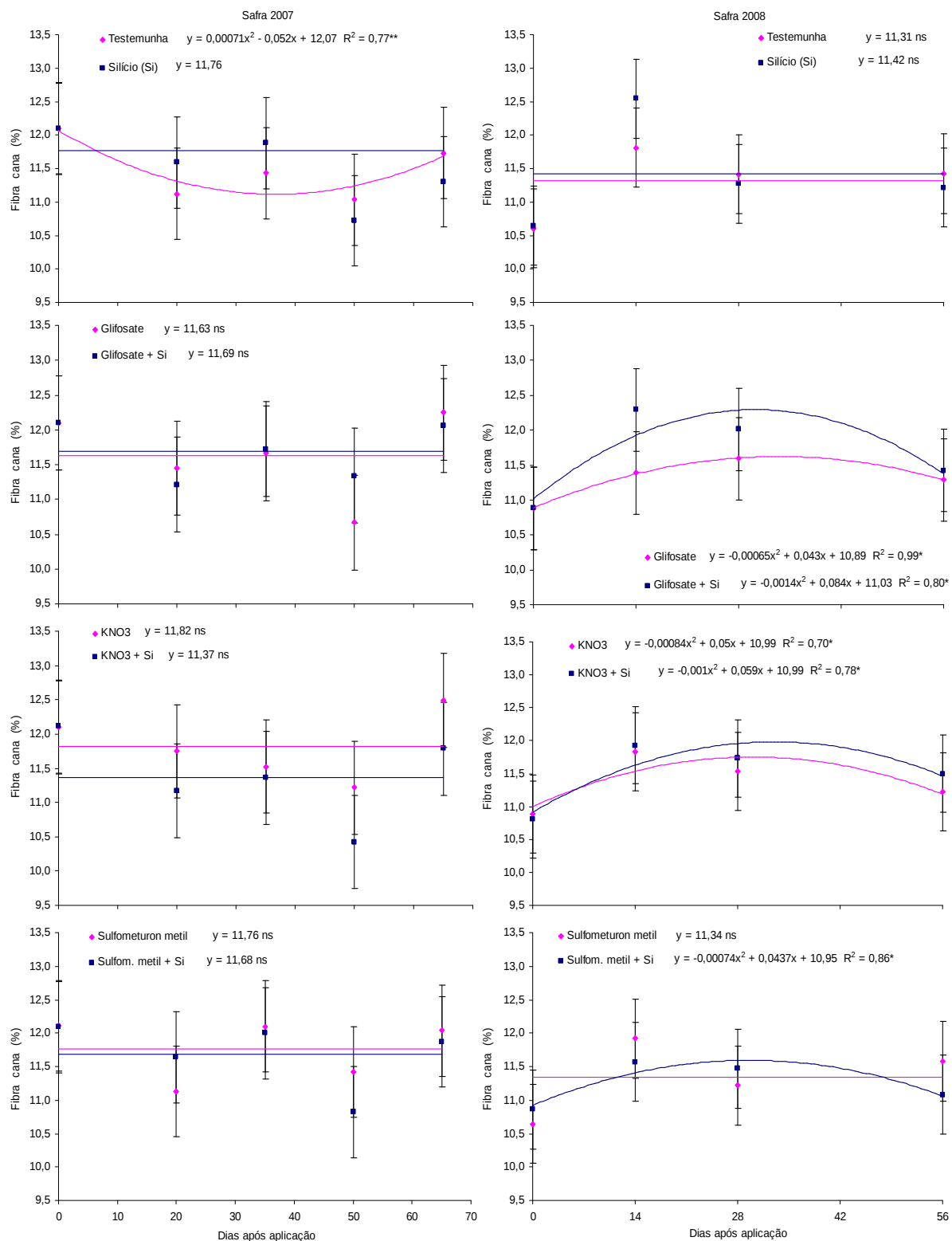


Figura 27. Fibra cana (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarapu do Tietê (SP), safras 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

6.1.2.5 Curvas de maturação da cana-de-açúcar

Na região Sudeste do Brasil, o processo de maturação da cana-de-açúcar ocorre naturalmente no início do mês de maio, atingindo seu clímax no mês de agosto/setembro. As condições climáticas, com a queda gradativa da temperatura e a diminuição das precipitações pluviais, até seca total no meio do ano, são as determinantes desse processo. A fotossíntese continua ocorrendo normalmente, enquanto houver folhas verdes, com a produção de açúcar que vai se acumulando nos espaços disponíveis nos colmos. Ocorre então, mesmo com a paralização do crescimento vegetativo, a elevação de matéria seca acumulada, formada basicamente pela sacarose (DEUBER, 1988; ANDRADE, 2006).

Na Figura 28 encontram-se as curvas de maturação da variedade de cana-de-açúcar RB855453, resultantes do desdobramento da interação entre as épocas de amostragem (DAA) x tratamentos, sendo os dados ajustados às funções lineares e quadráticas conforme o tratamento empregado e o mecanismo de ação dos distintos agentes químicos.

Nas plantas sujeitas ao processo de maturação natural, à aplicação de Glifosate + Si e Sulfometuron metil + Si, os teores de sacarose nos colmos aumentaram de forma quadrática com o transcorrer das épocas de amostragem na safra 2007, enquanto para os demais tratamentos tal comportamento foi linear positivo. Na safra posterior os tratamentos caracterizados pela maturação natural, Glifosate, Glifosate + Si e Sulfometuron metil + Si tenderam a elevar os valores de pol cana com resposta quadrática, sendo os demais tratamentos ajustados à modelos lineares crescentes (Figura 28).

De forma geral não foi possível estabelecer o ponto de máxima deflexão da curva no período de amostragem realizado, ou seja, até os 65 DAA e 56 DAA, nas safras 2007 e 2008, respectivamente, provavelmente pelo fato da planta de cana-de-açúcar ainda não ter atingido seu ponto de máximo acúmulo de sacarose nos colmos (Figura 28). Para os tratamentos controle, Glifosate + Si e Sulfometuron metil + Si, na safra 2007, tal ponto ocorreu aos 102 DAA, 72 DAA e 95 DAA, cujos valores calculados foram de 15,69 %, 15,33 % e 16,47 %, respectivamente, e na safra subsequente o máximo acúmulo de sacarose nos colmos ocorreu aos 60 DAA, 89 DAA, 47 DAA e 64 DAA para os tratamentos controle, Glifosate, Glifosate + Si e Sulfometuron metil + Si, cujos teores calculados foram 13,30 %, 15,17 %, 14,45 % e 14,69 %, respectivamente (Figura 28).

Pelos resultados obtidos quanto à pol cana na safra 2007 (Figura 28) é possível afirmar que os diferentes agentes químicos empregados mostraram efeito potencial de uso como indutores ou promotores do processo de maturação natural da cana-de-açúcar, enquanto na safra 2008 (Figura 28) tais tratamentos foram eficientes em promover tal processo mesmo sob condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento vegetativo da cultura (Figura 1). Diversos trabalhos têm concluído que os maturadores favorecem o processo de maturação da cana-de-açúcar mesmo sob condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento vegetativo da cultura com significativa antecipação do corte da matéria-prima, enquanto sob condições climáticas propícias ao processo de maturação natural, a adoção desta ferramenta no sistema produtivo tem possibilitado explorar o potencial da variedade em acumular sacarose, porém, de forma geral, não promovem antecipação do processo (CASTRO, 2000a, 2000b; LEITE, 2005; LEITE et al. 2009a, 2009b).

Dentro do complexo sistema de produção da indústria açucareira, a maturação da cana-de-açúcar é um dos aspectos dos mais importantes, pois é dele que depende o fornecimento de um fluxo contínuo de matéria-prima para o funcionamento constante da usina durante o período de colheita (ALMEIDA et al., 2003), principalmente em início de safra, haja vista que, atualmente, nenhuma variedade cultivada no Brasil apresenta conteúdo elevado de sacarose nesse período, decorrente das condições climáticas que estimulam o desenvolvimento vegetativo (DEUBER, 1988).

Na perspectiva econômica a cana é considerada madura ou em condição de ser industrializada no momento em que apresentar teor mínimo de sacarose (pol cana ou PCC) igual ou superior a 13 % do peso do colmo, sendo o rendimento melhor quanto maior for esta variável (DEUBER, 1988). Diversos outros parâmetros também apresentam correlação com o processo de maturação, dentre eles a pureza do caldo, mínimo de 80 % para o início da safra e, no decorrer, de 85 % (VENTURINI FILHO & NOGUEIRA, 2005), umidade da cana de aproximadamente 70 %, tolerando-se variação entre 68 e 72 % (STUPIELLO, 1989) e açúcares redutores da cana próximo a 0,5 %, podendo chegar a 0,2 % (FERNANDES, 2003).

Nesse contexto, por meio da Figura 27 e conforme o modelo de ajuste dos dados na safra 2007, foi possível determinar que a aplicação do silício elevou o teor de sacarose nos colmos, no mínimo a 13 %, aos 40 DAA, enquanto a maturação natural alcançou

este teor aos 35 DAA. O uso do Glifosate induziu o mínimo teor de sacarose nos colmos para industrialização aos 34 DAA, enquanto na associação com o silício o teor foi obtido aos 26 DAA. Para os tratamentos KNO_3 e $\text{KNO}_3 + \text{Si}$ o valor mínimo de pol cana para que a matéria-prima seja destinada à indústria (13 %) ocorreu aos 36 DAA e 38 DAA e, por fim, a aplicação do agente químico Sulfometuron metil isolado e associado ao silício proporcionou acréscimo nos níveis de sacarose nos colmos, mínimo de 13 % para extração de açúcar, aos 32 e 28 DAA. Na safra 2008, os tratamentos controle e Silício elevaram o teor de sacarose nos colmos no mínimo a 13 % aos 40 DAA e 48 DAA, para o Glifosate e o Glifosate + Si tal valor ocorreu aos 30 DAA e 20 DAA, para o KNO_3 e a associação com o elemento o teor de sacarose foi obtido aos 37 DAA e 53 DAA e, para o Sulfometuron metil e a combinação com o silício o mínimo valor de pol cana para a indústria sucroalcooleira ocorreu aos 35 e 25 DAA, respectivamente (Figura 28).

Pelas informações supracitadas é possível concluir que nas safras de condução do experimento, o uso isolado do elemento silício ou associado aos agentes químicos KNO_3 em comparação ao processo de maturação natural e à aplicação de tal produto isolado, não afetou de forma significativa a antecipação da colheita da matéria-prima. Por outro lado, na combinação do elemento com os maturadores Glifosate e Sulfometuron metil em relação ao uso isolado destes produtos químicos, o processo de maturação da cana-de-açúcar foi antecipado em 8 e 4 dias na safra 2007, respectivamente, e em 10 dias na safra 2008 (Figura 28).

Em ensaio envolvendo a aplicação isolada e a mistura de diferentes maturadores, SIQUEIRA (2009) concluiu que o emprego do Sulfometuron metil, da mistura Sulfometuron metil + Glifosate e Glifosate anteciparam a colheita da matéria-prima em relação à testemunha (maturação natural) em 20, 20 e 18 dias, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por ALMEIDA et al. (2003) para aplicação de Sulfometuron metil sob condições de estresse hídrico, que verificaram antecipação de 20 dias, por PONTIN (1995) e CASTRO et al. (1996), que constataram antecipação de 21 dias para o mesmo composto e por LEITE (2005) e LEITE et al. (2009, 2009a), que determinaram significativa antecipação do corte dos colmos através do uso de distintos produtos químicos.

A interpretação conjunta das Figuras 17, 18 e 28 referentes aos parâmetros bioquímicos (enzimas invertases) e acúmulo de sacarose nos colmos é possível

associar o efetivo acúmulo de sacarose decorrente da elevação dos níveis enzimáticos da NI no 1/3 superior dos colmos, principalmente na safra 2008, sendo constatado nessa safra redução da atividade da SAI e elevação dos níveis enzimáticos da NI, sendo a condição climática nesse período favorável ao desenvolvimento vegetativo da cultura (Figura 1), corroborando com outros trabalhos de pesquisa (LINGLE, 1997; ZHU et al., 1997; ROSE & BOTHA, 2000; TERAUCHI et al., 2000).

Pela interpretação conjunta das Figuras 20, 24 e 28 (safra 2007/2008), é possível constatar o efeito significativo do silício associado aos maturadores Glifosate e Sulfometuron metil em induzir a antecipação do processo de maturação da cana-de-açúcar em relação ao uso isolado destes agentes químicos e em relação à testemunha, correlacionando tal efeito ao incremento do teor de sacarose nas diferentes porções dos colmos, mas principalmente no 1/3 superior, aliado às condições climáticas de cada período (Figura 1) e ao mecanismo de ação específico de cada agente, os quais podem induzir a síntese de etileno. Nesse contexto, o silício foliar provavelmente poderia apresentar ação atenuante sobre os efeitos de tal hormônio no metabolismo vegetal, como pôde ser constatado pelo uso do composto químico KNO_3 .

Segundo EPSTEIN (1994) o silício pode reduzir o estresse salino e reduzir o processo de transpiração das plantas, com importante desempenho do elemento também na proteção das folhas quanto aos danos da radiação ultravioleta por filtrar estes raios (TISDALE et al., 1993), possivelmente devido ao acúmulo de silício principalmente nas células da epiderme e tricomas das folhas, que parece favorecer o crescimento e a resistência ao estresse (PARRY & SMITHSON, 1964; LUX et al., 1999). Para SCHMIDT et al. (1999) o silício aumentou os níveis de enzimas antioxidantes, a capacidade fotossintética e o conteúdo de clorofila em gramados sob condições de baixa umidade, enfatizando que o maior nível de enzimas antioxidantes em plantas tratadas com silício parece criar condições de tolerância a este tipo de estresse.

LIANG (1999) observou que plantas de arroz crescidas em solução nutritiva contendo silício apresentavam atividade de enzimas antioxidantes 24% maior que as plantas crescidas em meio sem silício, sob condições de estresse salino, contribuindo para a manutenção da integridade da membrana, diminuindo sua permeabilidade. Segundo LIANG et al. (1996) e WANG & GALLETTA (1998), o silício aumenta o conteúdo de glicolipídeos e

fosfolipídeos, o que estaria relacionado ao incremento do conteúdo de clorofila e a maior estabilidade e funcionamento da membrana plasmática, com reflexo positivo na taxa fotossintética.

ADATIA & BESFORD (1986) observaram, em plantas de pepino, vários efeitos devido à adição de silício (100 mg kg^{-1}) ao meio nutritivo, dentre os quais o aumento no teor de clorofila, a maior massa foliar específica (fresca e seca), atraso na senescência e aumento da rigidez das folhas maduras, as quais se mantiveram mais horizontais, de modo que a melhoria na arquitetura foliar permitiu a maior penetração de luz solar, maior absorção de CO_2 e diminuição da transpiração excessiva, beneficiando a taxa fotossintética (TAKAHASHI, 1996).

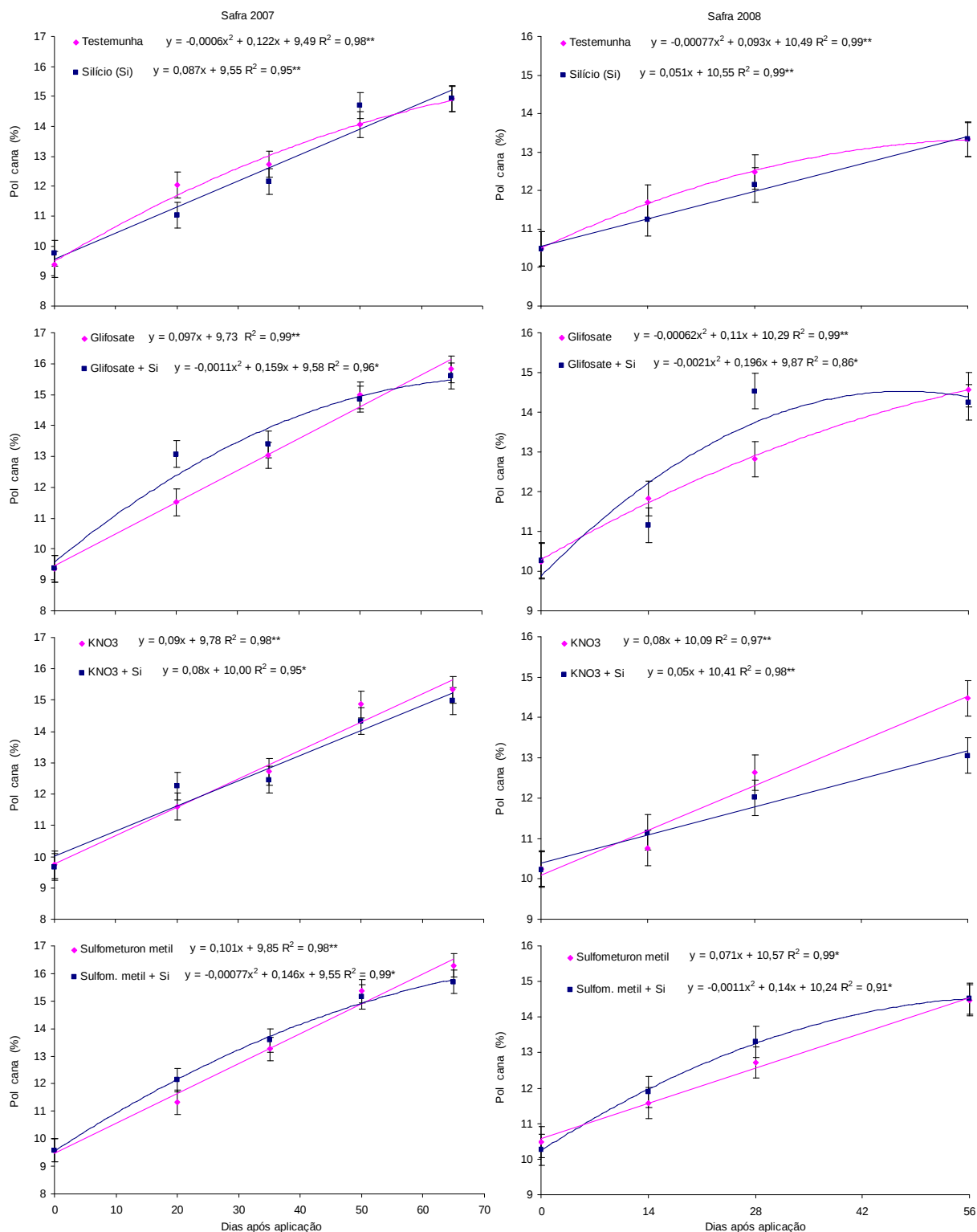


Figura 28. Curvas de maturação da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarau do Tietê (SP), safras 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

6.1.2.6 Amido no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar

ANYANGWA et al. (1993) enfatizaram o efeito negativo do amido presente no caldo de cana-de-açúcar como fator limitante para a filtrabilidade durante o processo de cristalização do açúcar e, segundo ONNA & HASHIMOTO (1993) o elevado nível deste carboidrato no caldo implica no aumento da viscosidade, refletindo na diminuição da recuperação de açúcar no processo de fabricação.

Na Figura 29 encontram-se os teores de amido determinados na porção apical dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453, resultantes do desdobramento da interação entre as épocas de amostragem (DAA) x tratamentos, verificando-se que a presença em quantidade deste carboidrato foi influenciada de forma diferenciada pelos tratamentos adotados, cujos dados foram ajustados às funções lineares e quadráticas.

Na safra 2007 os tratamentos controle, Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil promoveram redução quadrática do teor de amido no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar até os 28 DAA (0,0083 %), 19 DAA (0,0079 %), 21 DAA (0,007 %) e 13 DAA (0,009 %), respectivamente (Figura 29).

Na safra 2008 os tratamentos Silício, Glifosate, Glifosate + Si e Sulfometuron metil induziram aumento linear da quantidade de amido com o transcorrer das épocas de amostragem, não sendo possível determinar o ponto de máximo dentro do período de amostragem realizado. Por outro lado, para os tratamentos controle, KNO_3 , KNO_3 + Si e Sulfometuron metil + Si houve resposta quadrática com mínimo teor de amido aos 14 DAA (0,001 %), 17 DAA (0,009 %), 15 DAA (0,01 %) e 31 DAA (0,012 %), respectivamente, seguido de incremento até a colheita. Todavia, conforme os ajustes dos dados, a combinação do silício com o produto químico Glifosate e o uso isolado deste último implicou na significativa redução do teor de amido aos 28 DAA (0,019 % e 0,023 %, respectivamente) (Figura 29).

Os resultados deste experimento corroboram parcialmente com os obtidos por SIQUEIRA (2009), que determinou incremento no teor de amido no 1/3 superior dos colmos através da aplicação isolada ou da mistura de maturadores.

Para CÉSAR & MAZZARI (1972) o teor de amido na cana de açúcar sofre influência de diversos fatores, dentre os quais, variedade, tipo de solo, estágio de

desenvolvimento, adubação, sendo observado neste ensaio significativo efeito do fator estágio desenvolvimento da cultura. Sobretudo, na safra 2008 (Figura 28), é possível associar o incremento deste carboidrato no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar com a continuidade do desenvolvimento vegetativo caracterizado pelo crescimento em altura das plantas (Tabela 1). Segundo TAIZ & ZEIGER (2004) e CASTRO (2002) o amido está intimamente relacionado aos tecidos imaturos, em processo de alongamento e expansão celular.

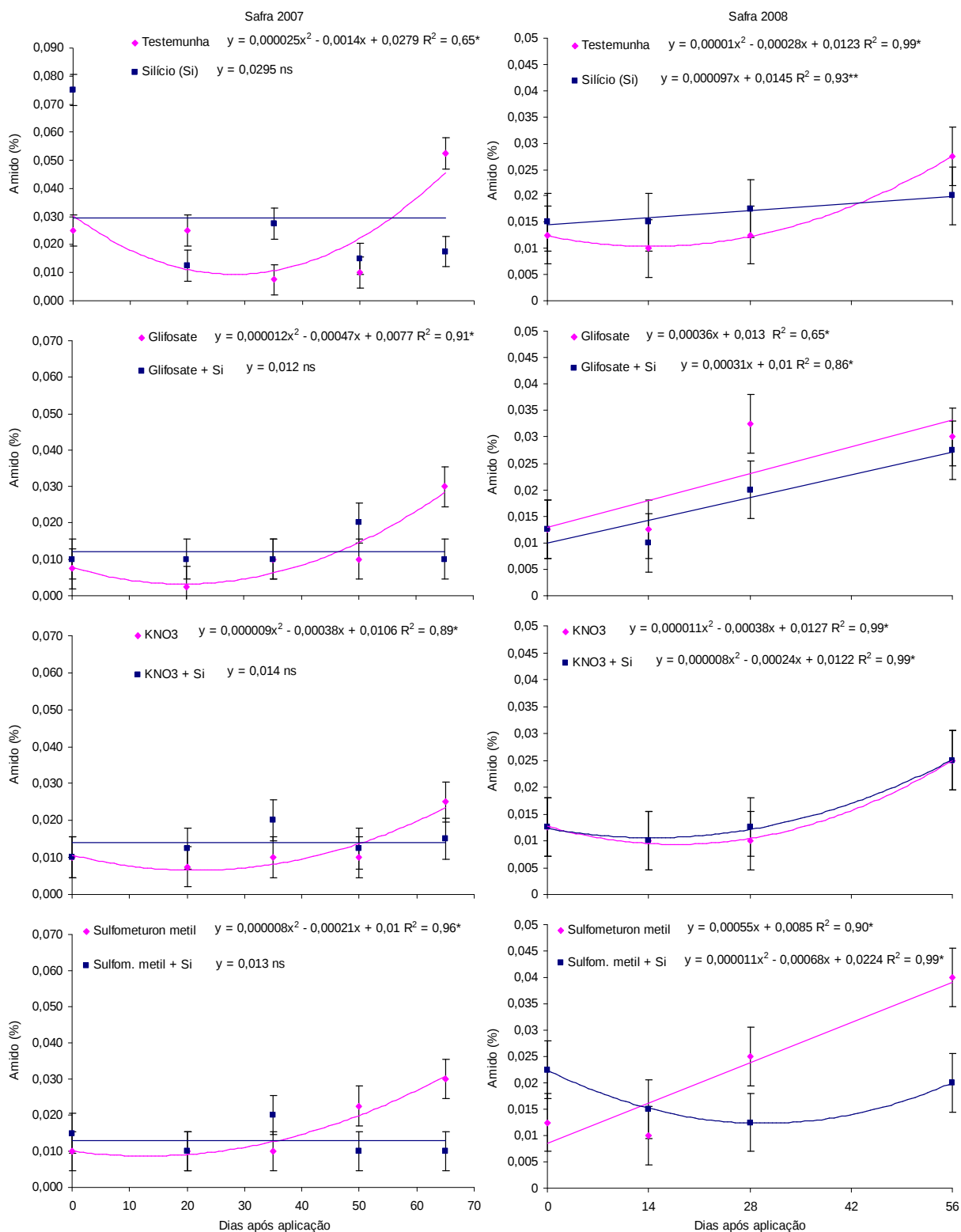


Figura 29. Amido (%) no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarapu do Tietê (SP), safras 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

6.1.2.7 Produtividade de colmos (TCH) e açúcar (TPH) da cana-de-açúcar

Por meio da Figura 30 referente ao desdobramento das épocas de avaliação (DAA) x tratamentos foi possível constatar efeito significativo dos tratamentos sobre a produtividade de colmos por hectare (TCH), com os tratamentos apresentando resposta expressa por modelo linear crescente com o transcorrer das épocas de amostragem independente da safra, todavia o coeficiente angular dos modelos matemáticos foi distinto conforme o tratamento empregado.

Com relação à TCH, a aplicação foliar de silício em comparação à maturação natural (testemunha), assim como o uso dos agentes químicos comparado às combinações com o elemento, de forma geral, não produziram efeito estatístico sobre tal parâmetro dentro de cada época de amostragem. Porém, na colheita da safra 2007 (65 DAA) a aplicação foliar de silício associado ao Glifosate proporcionou tonelagem de cana estatisticamente inferior ao uso isolado do maturador, cujos valores foram 144 e 149 toneladas de colmos por hectare, respectivamente. Por outro lado, na safra 2008 determinou-se aos 56 DAA valor de tonelada de colmos por hectare para a testemunha significativamente superior ao obtido através do uso foliar de silício, cujos valores calculados foram aproximadamente 135 e 129 toneladas de colmos por hectare, respectivamente (Figura 30).

Na Figura 31 encontram-se os dados referentes à produtividade de açúcar (TPH) resultantes do desdobramento da interação entre as épocas de amostragem (DAA) x tratamentos, sendo os dados ajustados às funções lineares e quadráticas conforme os diferentes mecanismos de ação dos agentes químicos empregados e suas associações com o silício.

Para a tonelada de pol por hectare (TPH), na safra 2007, os tratamentos apresentaram resposta expressa por modelo linear crescente com o transcorrer das épocas de amostragem, sendo constatado na safra subsequente comportamento semelhante para todos os tratamentos, com exceção para o Glifosate + Si e Sulfometuron metil + Si, os quais foram ajustados à modelos quadráticos positivos (Figura 31).

No primeiro ano de condução do experimento a maturação natural proporcionou incremento significativo no valor de TPH aos 20 DAA, diferindo da aplicação

foliar do silício, cujos valores obtidos foram 15,79 e 14,13 toneladas de pol por hectare, respectivamente. Nessa safra o uso de silício foliar associado ao Glifosate elevou a TPH em relação à aplicação do maturador, cujos valores foram, respectivamente, 16,57 e 14,84 toneladas de pol por hectare, contudo aos 65 DAA comportamento inverso foi determinado, cujos valores foram 23,53 e 22,28 toneladas (Figura 31).

Por outro lado, na safra 2008 foi determinado aumento significativo na TPH pela associação do silício com o maturador Glifosate em relação à aplicação deste agente químico aos 28 DAA (16,61 e 14,40 toneladas de pol por hectare, respectivamente), enquanto a associação do elemento com o agente químico KNO_3 resultou na redução da TPH (16,88 toneladas de colmos por hectare) em relação ao uso isolado do produto químico (18,89 toneladas de colmos por hectare) aos 56 DAA. Por outro lado, a associação do silício com o maturador Sulfometuron metil elevou de forma significativa os valores de TPH em relação ao uso isolado do maturador, cujos valores foram 15,43 e 14,32 toneladas de colmos por hectare aos 28 DAA e 18,84 e 17,71 toneladas de colmos por hectare aos 56 DAA. Para os tratamentos Glifosate + Si e Sulfometuron metil + Si a máxima produtividade de açúcar foi determinada aos 65 DAA e aos 112 DAA, respectivamente, cujos valores calculados foram 18,45 e 21,64 toneladas de pol por hectare, respectivamente (Figura 31).

O silício contribui para a qualidade final do vegetal, pois seu acúmulo na cutícula das folhas permite proteção às plantas, aumento da capacidade fotossintética, redução de perda de água e promoção de maior crescimento (EPSTEIN, 1999). Segundo FERREIRA (2008), em experimento hidropônico, o silício promoveu aumento na taxa de fotossíntese, assim como a diminuição na perda de água através da transpiração, associado a diminuição da condutância estomática indicando a contribuição significativa no fechamento de estômatos, resultando em menor perda de água para atmosfera, conseqüentemente maior resistência ao estresse hídrico, maior vigor e tolerância à doenças. Para o autor a ativação de enzimas antioxidantes como a catalase foi acelerada e correlacionou com os teores de proteína e as doses de silício durante as 11 semanas avaliadas.

A interpretação conjunta das Figuras 20, 24, 28 e 30 permite afirmar que os parâmetros pol cana do 1/3 superior e dos 2/3 inferiores dos colmos, a curva de maturação e a TCH (tonelada de cana ha^{-1}) têm influência significativa sobre a quantificação da TPH (tonelada de açúcar (pol) ha^{-1}), ressaltando que tais efeitos são induzidos pela presença dos

diferentes agentes indutores ou promotores da maturação associados às condições climáticas (Figura 1). Nesse contexto, na safra 2008, é evidente o incremento dos valores de TPH no tratamento referente ao controle (maturação natural) em relação à aplicação foliar isolada do silício, o qual pode ser atribuído, provavelmente, aos maiores valores de TCH determinados para tal tratamento, embora sem diferirem entre si, como pode ser observado também na Tabela 1 referente ao crescimento em altura das plantas.

Segundo et al. (2006), diversos fatores estão envolvidos na produção canavieira, dentre eles o conhecimento da planta de cana-de-açúcar, isto é, suas características varietais e seus atributos ecofisiológicos relacionados com a produção agrícola (expressa em toneladas de colmos por hectare – TCH) e acumulação de açúcar (medida em sacarose aparente – POL cana ou, açúcar teórico recuperável – ATR) – e o vínculo adequado da logística de colheita aos fatores agronômicos. A influência dos componentes primários da produção (TCH, Pol cana ou ATR) no rendimento agroindustrial das lavouras é indiscutível, portanto é fundamental utilizar cada componente em seu momento mais propício.

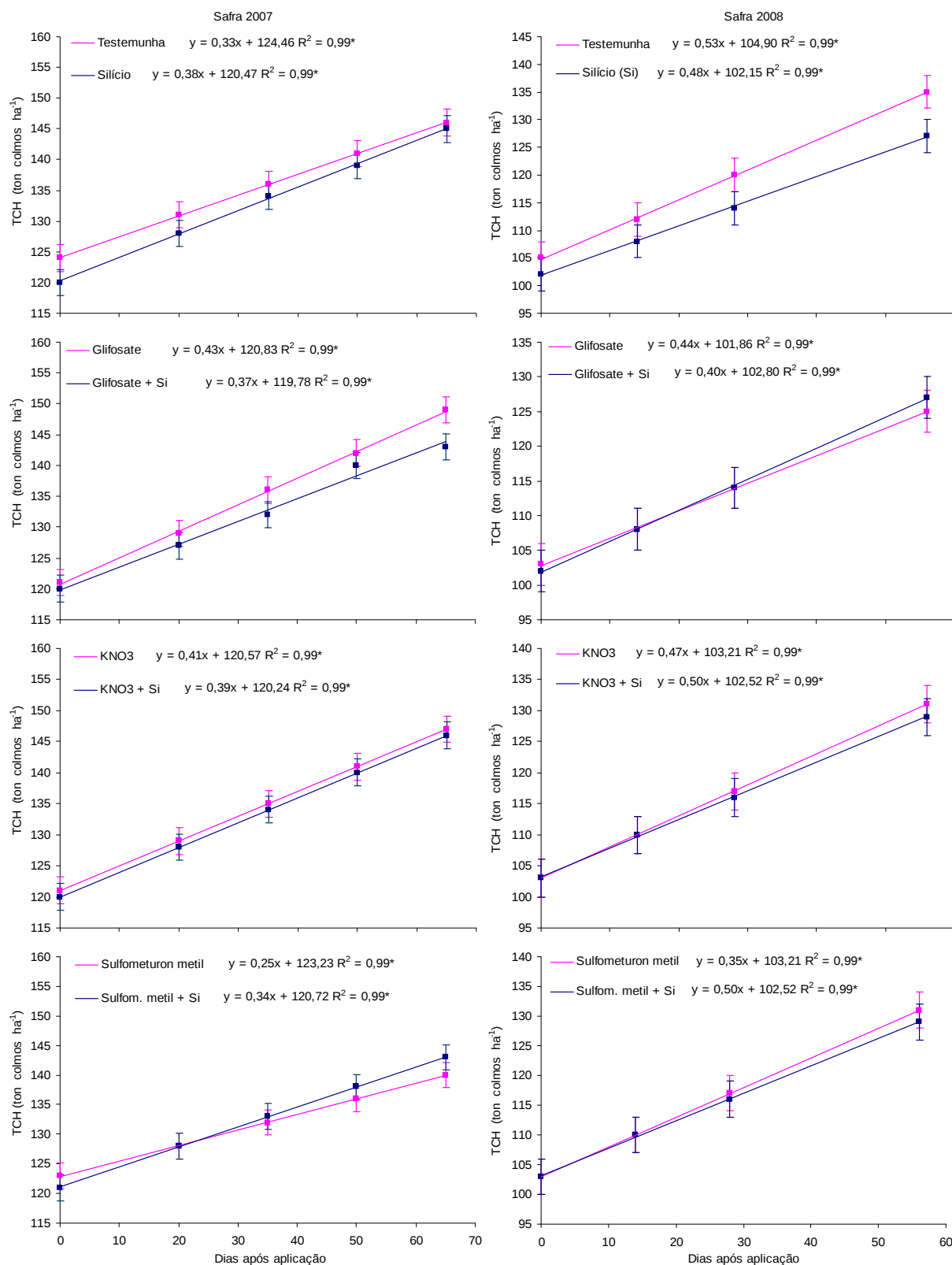


Figura 30. TCH (ton colmos ha^{-1}) da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarapu do Tietê (SP), safra 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.

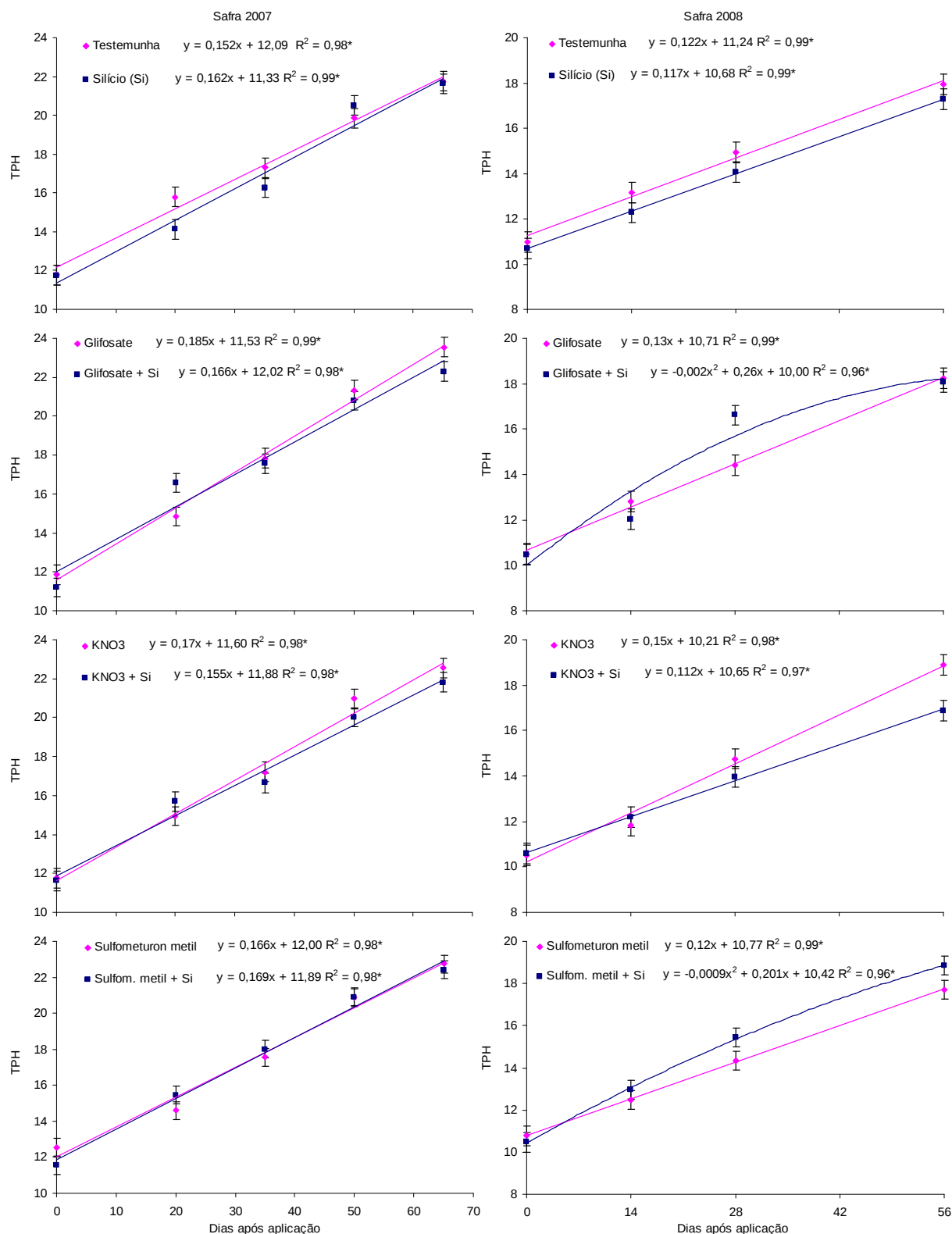


Figura 31. TPH (ton pol ha⁻¹) da cana-de-açúcar variedade RB855453 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarçu do Tietê (SP), safra 2007 e 2008. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.

6.1.2.8 Atividade das enzimas oxidativas peroxidase (POX), superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar

Nas Tabelas 9, 10 e 11 estão contidos os resultados referentes à determinação da atividade das enzimas peroxidase (POX), superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) nas folhas da cana-de-açúcar conforme os tratamentos adotados e as épocas de avaliação, não sendo constatado diferença significativa na instalação do experimento em ambas as safras. Todavia, com o transcorrer das épocas de amostragem é possível afirmar variação do nível enzimático com diferentes magnitudes em função dos distintos mecanismos de ação dos tratamentos aplicados.

Na safra 2007 a aplicação dos tratamentos Glifosate, silício associado ao Sulfometuron metil e a testemunha (maturação natural) induziram significativa elevação nos níveis da enzima POX, respectivamente, aos 12 DAA, 24 DAA e 36 DAA, enquanto os tratamentos controle (maturação natural), KNO_3 e Sulfometuron metil proporcionaram, nestas mesmas épocas de amostragem, os menores valores de atividade para tal enzima, determinando-se para os demais tratamentos atividade intermediária (Tabela 9).

Por outro lado, na safra 2008 o uso foliar do silício elevou de forma significativa os níveis enzimáticos da enzima POX aos 12 DAA, 24 DAA e 36 DAA, não diferindo da maturação natural aos 12 DAA e da aplicação do agente químico KNO_3 e da associação do elemento com os produtos KNO_3 e Sulfometuron metil aos 24 DAA. Nessa safra a utilização do maturador Sulfometuron metil e do silício associado ao maturador Glifosate, assim como o uso dos produtos químicos Glifosate e KNO_3 ocasionaram reduzida atividade da enzima POX aos 12 DAA, 24 DAA e 36 DAA respectivamente, diferindo dos tratamentos supracitados, enquanto os demais tratamentos apresentaram comportamento intermediário (Tabela 9).

Com relação à enzima superóxido dismutase (SOD) houve efeito significativo dos tratamentos com o transcorrer das épocas de avaliação em ambas as safras, sendo constatado, na safra 2007, maior nível enzimático da SOD nas folhas das plantas tratadas com os agentes químicos KNO_3 , Sulfometuron metil e pela associação do silício com os produtos Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil aos 12 DAA, diferindo dos tratamentos controle (maturação natural), silício e Glifosate, que ocasionaram reduzida atividade da

enzima SOD. No entanto, aos 24 DAA os tratamentos não produziram efeito significativo sobre os níveis enzimáticos da SOD, enquanto aos 36 DAA somente a aplicação do silício combinado ao KNO_3 elevou sua atividade, diferindo dos tratamentos Sulfometuron metil e de sua associação com o silício, constatando-se valores intermediários para os demais tratamentos (Tabela 10).

Na safra 2008 o uso foliar do silício induziu altos níveis de atividade da enzima SOD aos 12 DAA e 24 DAA, sendo observado resposta semelhante nessa última época para os tratamentos testemunha (maturação natural) e Glifosate, enquanto aos 36 DAA somente o uso do Sulfometuron metil + Si ocasionou tal resultado. Por outro lado, nas folhas das plantas tratadas com KNO_3 + Si aos 12 DAA, KNO_3 e KNO_3 + Si, Glifosate + Si e Sulfometuron metil + Si aos 24 DAA e Glifosate aos 36 DAA foram determinados os menores valores enzimáticos da SOD, com os demais tratamentos apresentando resposta intermediária (Tabela 10).

A atividade da enzima catalase (CAT) nas folhas das plantas sujeitas ao uso do KNO_3 + Si e caracterizadas pela maturação natural (testemunha) foi elevada aos 12 DAA, 24 DAA e 36 DAA na safra 2007, diferindo dos tratamentos Silício e Glifosate aos 12 DAA, Glifosate, KNO_3 , KNO_3 + Si e Sulfometuron metil + Si aos 24 DAA e Sulfometuron metil + Si aos 36 DAA, os quais ocasionaram reduzidos níveis enzimáticos, com os demais tratamentos revelando comportamento intermediário (Figura 11).

Na safra 2008 nas folhas das plantas sujeitas à aplicação foliar do silício e Glifosate aos 12 DAA, testemunha (maturação natural), Glifosate e KNO_3 + Si aos 24 DAA e Sulfometuron metil + Si aos 36 DAA determinou-se níveis enzimáticos da CAT significativamente elevados, diferindo dos tratamentos, sendo constatado as menores atividades por meio da aplicação do KNO_3 + Si aos 12 DAA, Silício e as associações Glifosate + Si e Sulfometuron metil + Si aos 24 DAA e KNO_3 e sua associação com o elemento aos 36 DAA, sendo determinado para os demais tratamentos níveis intermediários (Tabela 11).

Nos experimentos a taxa de brotação lateral não foi mensurada, todavia por meio de observações visuais é possível afirmar elevados índices para os tratamentos envolvendo a aplicação de Sulfometuron metil e principalmente o Glifosate, corroborando com LEITE (2005) e LEITE & CRUSCIOL (2008). Segundo CUI et al. (1999) o estresse oxidativo está envolvido na diferenciação celular e embriogênese somática, sendo

determinados reduzidos níveis da CAT e POX nos primeiros dias de diferenciação celular aliado a elevada atividade da SOD e produção de H_2O_2 . Assim, de forma geral, a resposta oxidativa constatada e descrita nas Tabelas 9, 10 e 11 referentes às enzimas POX, SOD e CAT possivelmente refletem tais observações.

Os resultados referentes à atividade das enzimas CAT e POX mostrados nas Tabelas 9 e 11 podem também ser explicados pela síntese do ácido δ -aminolevulínico (AAL). Segundo COLE (1985) tal ácido tem a síntese inibida pelo uso do Glifosate, com papel chave na síntese de porfirinas, que são incorporadas a importantes proteínas como os citocromos, CAT e POXs. Assim, para ABU-IRMAILEH & JORDAN (1978) a inibição da síntese de AAL pode ser de considerável importância no modo de ação que pode explicar a diminuição do conteúdo de CAT em folhas de *Cyperus rotundus* tratadas com glifosato.

Um dos efeitos da acumulação de radicais livres de oxigênio em células vegetais sob estresse, por exemplo, estresse salino, provavelmente devido o declínio das atividades das enzimas superóxido dismutase e catalase (LIU et al., 1987; SINGHA & CHOUDHURI, 1990), é a peroxidação lipídica através da oxidação dos ácidos graxos insaturados da membrana ocasionando danos e vazamento dos eletrólitos (LIU et al., 1987; MARSCHNER, 1995). No entanto, para LIANG et al. (1996, 1999) o fornecimento de pequenas quantidades de silício solúvel às plantas poderia minimizar tal efeito, provavelmente por contribuir para a manutenção da permeabilidade da membrana plasmática das células das folhas decorrente do estímulo na atividade da SOD e melhoria significativa na estrutura dos cloroplastos.

A análise dos dados referentes à altura das plantas de cana-de-açúcar (Tabela 8) e a atividade da enzima peroxidase (Tabela 9) permite inferir, parcialmente, a significativa influência da POX sobre o crescimento vegetal. Segundo SIEGEL (1993) as enzimas AIA-oxidase e peroxidases têm sido intimamente ligadas com o crescimento vegetal e são, com pequenas modificações, a mesma proteína enzimática.

Para HAISSIG (1986), as peroxidases podem afetar a formação de raízes através de sua influência sobre as auxinas (rizogênese via metabolismo do AIA), ligninas e metabolismo das antocianinas. As maiores atividades das peroxidases são observadas nas paredes celulares e a parede primária representa a matriz na qual ocorre a lignificação, catalisada pela enzima. As peroxidases funcionam como catalisadores na

degradação do AIA e, este, age como repressor e indutor de peroxidases específicas. HAUSMAN (1993) sugeriram que o aumento da atividade das peroxidases e decréscimos do nível de AIA podem estar associados com as primeiras divisões celulares da organização e crescimento dos primórdios radiculares, corroborando com KLERK et al. (1990), os quais sugeriram que a elevada atividade de peroxidases básicas está relacionada com a capacidade de divisão celular. Além disso, as peroxidases atuam na biossíntese do etileno, na lignificação, além da destruição das auxinas, devido ao fato dessas se apresentarem em muitas formas moleculares, participando de diferentes reações bioquímicas (DENCHEVA & KLISURKA, 1982; PASSARDI et al., 2005).

Segundo SIEGEL (1993) sob condições de estresse, as plantas tendem a aumentar a atividade da peroxidase e às vezes, é a primeira enzima a ter atividade alterada, independentemente do substrato utilizado ou do estresse aplicado. A peroxidase pode ser tomada como um marcador bioquímico de estresse resultante tanto de fatores bióticos como de abióticos e parece ser a molécula chave de adaptação das plantas, ou de algum de seus órgãos separadamente, às mudanças do meio ambiente (LIMA et al., 1999; GASPAR, 1986).

É importante ressaltar que as folhas de cana-de-açúcar (folha +3) amostradas para determinação nutricional e enzimática, possivelmente, sofreram a influência de diversos fatores bióticos e abióticos no período de condução do experimento, dentre os quais destacamos as condições climáticas (Figura 1) e a ocorrência da doença fúngica Ferrugem, cujo agente causador *Puccinia melanocephala*, aliado ao mecanismo de ação dos produtos químicos empregados, de tal forma que a variabilidade nos níveis enzimáticos mostrados nas Tabelas 9, 10 e 11 referentes às enzimas POX, SOD e CAT respectivamente, provavelmente refletem a resposta quanto a interação dos fatores supracitados.

O surto oxidativo com o aumento das EROs, segundo LAMB & DIXON (1997) e MEHDY et al. (1996), pode estar relacionado com a resposta de hipersensibilidade decorrente da interação patógeno/planta, com a conseqüente necrose das células próximas aos locais de entrada do patógeno na tentativa de isolar o mesmo num pequeno local, evitando assim a infecção sistêmica. Segundo CHERIF et al. (1994) houve aumento na atividade das enzimas chitinase, peroxidase e polifenoloxidase, sendo mais intensa nas duas últimas, em plantas de pepino infectadas com *Pythum ssp.* cultivadas em solução

nutritiva contendo 100 ppm de silício, sugerindo o envolvimento do elemento no metabolismo vegetal quando expostas a estresse biótico ou abiótico.

As EROs não estão apenas relacionadas com a morte celular programada, característica da resposta de hipersensibilidade, mas podem agir diretamente sobre o patógeno como sinalizador, juntamente com o ácido salicílico para a produção de proteínas de resistência, na ativação de genes de defesa no hospedeiro (planta), na ligação oxidativa de proteínas reforçando a parede celular e como sinalizadores na síntese de fitoalexinas. Para KWAK et al. (1996) a atividade da POX é aumentada freqüentemente em resposta a hormônios relacionados com o estresse, tais como o ácido abscísico e etileno e, da mesma forma, o Paraquat, herbicida gerador de estresse oxidativo, também induz este tipo de resposta.

IWASAKI et al. (2002) determinaram uma relação negativa e significativa entre a atividade da POX e da concentração de silício em folhas de feijão-caupi, isto é, o fornecimento de silício impediu o aumento na atividade da POX. Da mesma forma, tal relação foi demonstrada em outras espécies vegetais como cevada e arroz (HORIGUCHI & MORITA 1987b; HORIGUCHI, 1988), discordando parcialmente dos resultados obtidos quanto ao fornecimento foliar somente de silício, haja visto a elevação dos níveis da POX na safra 2008 (Tabela 9). Com base na observação de que a enzima peroxidase está localizada na parede celular, os autores supracitados especularam que silício pode desempenhar papel de proteção celular contra substâncias fenólicas produzidas em situações de estresse.

As peroxidases participam da biossíntese do hormônio vegetal etileno (ASADA, 1992), da oxidação de compostos fenólicos, os quais acumulam-se em resposta à situações de estresse biótico (infecção por patógenos) (FRY, 1986), oxidação do ácido indolil-3-acético (AIA) (HOAGLAND, 1990) e na biossíntese de lignina (ABELLES & BILES, 1991). As peroxidases parecem ter papel nas reações de defesa das plantas, porque a lignificação e o espessamento da parede celular são respostas bem conhecidas, como por exemplo, no ataque de patógenos, e podem também ser responsáveis pelo último passo na união oxidativa de monômeros fenólicos na formação de polímeros da parede (VANCE et al., 1980; HAMMERSCHMIDT & KUC, 1982). Nesse sentido, KUC & PRESSIG (1984) enfatizaram que a rapidez e a magnitude com a qual ocorre a ativação dos mecanismos de defesa podem ser críticos para a expressão da resistência.

Em relação aos compostos fenólicos, apesar de serem sintetizados por rotas metabólicas secundárias de plantas, sua importância é fundamental para o metabolismo vegetal, sendo produzidos em células especializadas distribuídas pelos tecidos, ao acaso ou em locais estratégicos, estando o local de síntese associado ao retículo endoplasmático de modo que após a produção os fenóis são armazenados em vesículas, na sua forma original ou glicosilada, de modo que a compartimentalização é fundamental para o funcionamento das células. Os fenóis são tóxicos, tendo em vista que mantidos livres no citoplasma podem apresentar ação deletéria tanto sobre patógenos como sobre a própria célula vegetal, contribuindo para a reação de hipersensibilidade devido à oxidação pela ação das enzimas peroxidases (STRACK, 1997; BECKMAN, 2000).

Tabela 9. Atividade da enzima peroxidase (POX) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao silício. Igarapu do Tietê, SP, safras 2007/2008.

Tratamentos	Peroxidase			
	M moles de H ₂ O ₂ consumidos g ⁻¹ de matéria fresca x minuto			
	Safr 2007			
	0 DAA ⁽¹⁾	12 DAA ⁽¹⁾	24 DAA ⁽¹⁾	36 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	2,00 a	1,44 e	2,43 d	3,40 a
Silício (Si)	2,03 a	1,86 c	2,75 c	2,86 c
Glifosate	2,00 a	2,38 a	1,43 e	2,43 d
KNO ₃	2,08 a	2,11 b	0,97 f	2,72 cd
Sulfometuron metil	2,00 a	1,56 de	1,15 f	2,08 e
Glifosate + Si	1,98 a	1,70 cd	2,99 b	2,73 cd
KNO ₃ + Si	2,02 a	2,25 ab	3,03 b	3,20 ab
Sulfom. metil + Si	2,05 a	1,70 cd	3,42 a	3,02 bc
CV (%) = 5,29				
Tratamentos	Safr 2008			
	0 DAA ⁽¹⁾	12 DAA ⁽¹⁾	24 DAA ⁽¹⁾	36 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	1,94 a	3,41 a	2,61 bc	2,99 b
Silício (Si)	1,90 a	3,21 a	3,68 a	3,55 a
Glifosate	1,99 a	2,04 c	2,14 d	2,99 b
KNO ₃	1,91 a	2,29 c	3,29 a	1,82 d
Sulfometuron metil	1,93 a	1,39 d	2,81 b	2,99 b
Glifosate + Si	1,95 a	1,67 d	2,35 cd	2,25 c
KNO ₃ + Si	1,97 a	2,09 c	3,38 a	1,97 cd
Sulfom. metil + Si	1,89 a	2,81 b	3,30 a	2,75 b
CV (%) = 3,78				

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 10% de probabilidade.

⁽¹⁾ Dias após a aplicação.

Tabela 10. Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2007/2008.

Tratamentos	Superóxido dismutase			
	unidades de atividade g ⁻¹ de matéria fresca x minuto			
	Safr 2007			
	0 DAA ⁽¹⁾	12 DAA ⁽¹⁾	24 DAA ⁽¹⁾	36 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	0,51 a	0,44 b	0,57 a	0,78 ab
Silício (Si)	0,50 a	0,44 b	0,65 a	0,71 bc
Glifosate	0,51 a	0,44 b	0,65 a	0,68 bc
KNO ₃	0,50 a	0,50 a	0,67 a	0,65 bc
Sulfometuron metil	0,49 a	0,50 a	0,66 a	0,62 c
Glifosate + Si	0,52 a	0,52 a	0,69 a	0,70 bc
KNO ₃ + Si	0,52 a	0,52 a	0,61 a	0,92 a
Sulfom. metil + Si	0,50 a	0,54 a	0,61 a	0,63 c
CV (%) = 2,45				
Tratamentos	Safr 2008			
	0 DAA ⁽¹⁾	12 DAA ⁽¹⁾	24 DAA ⁽¹⁾	36 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	1,46 a	0,80 cd	0,77 a	1,56 abc
Silício (Si)	1,38 a	1,27 a	0,80 a	1,50 bcd
Glifosate	1,44 a	1,12 ab	0,79 a	1,17 d
KNO ₃	1,43 a	0,94 bcd	0,61 b	1,57 abc
Sulfometuron metil	1,45 a	1,05 abc	0,77 a	1,40 cd
Glifosate + Si	1,37 a	1,05 abc	0,58 b	1,80 ab
KNO ₃ + Si	1,39 a	0,71 d	0,65 b	1,33 cd
Sulfom. metil + Si	1,40 a	0,98 bc	0,59 b	1,86 a
CV (%) = 11,49				

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 10% de probabilidade.

⁽¹⁾ Dias após a aplicação.

Tabela 11. Atividade da enzima catalase (CAT) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2007/2008.

Tratamentos	Catalase			
	μ moles de H_2O_2 decomposto g^{-1} de matéria fresca x minuto			
	Safr 2007			
	0 DAA ⁽¹⁾	12 DAA ⁽¹⁾	24 DAA ⁽¹⁾	36 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	340,91 a	279,90 c	615,47 a	583,09 a
Silício (Si)	335,91 a	201,09 e	510,53 b	519,81 b
Glifosate	339,97 a	216,78 e	364,95 c	442,39 cd
KNO ₃	341,08 a	252,63 d	362,55 c	417,46 de
Sulfometuron metil	340,77 a	258,36 d	511,17 b	411,59 de
Glifosate + Si	340,91 a	262,52 cd	456,51 b	384,11 ef
KNO ₃ + Si	339,91 a	363,19 a	311,75 c	460,37 c
Sulfom. metil + Si	335,91 a	309,89 b	319,49 c	343,78 f
CV (%) = 2,59				
Tratamentos	Safr 2008			
	0 DAA ⁽¹⁾	12 DAA ⁽¹⁾	24 DAA ⁽¹⁾	36 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	506,01 a	599,21 bcd	606,62 a	961,09 c
Silício (Si)	494,05 a	935,66 a	393,34 c	639,98 e
Glifosate	503,99 a	973,94 a	630,22 a	660,93 e
KNO ₃	506,24 a	564,67 cd	506,26 b	890,59 d
Sulfometuron metil	505,19 a	547,20 de	523,08 b	886,28 b
Glifosate + Si	499,87 a	692,84 b	398,03 c	1317,54 b
KNO ₃ + Si	501,54 a	450,92 e	620,03 a	835,76 d
Sulfom. metil + Si	497, 99 a	654,96 bc	398,86 c	1610,68 a
CV (%) = 3,59				

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 10% de probabilidade.

⁽¹⁾ Dias após a aplicação.

6.1.2.9 Rebrotas da soqueira e teores de antocianinas, carotenóides, clorofila (a+b) e compostos fenólicos totais

Na Tabela 12 estão contidos os resultados referentes à determinação da capacidade de rebrotas da soqueira da cana-de-açúcar variedade RB855453 (maturação precoce) em função dos tratamentos adotados, sendo possível afirmar que, em ambas as safras, houve significativa influência dos agentes químicos, associados ou não ao silício, sobre tal parâmetro.

Na safra 2007 quantificou-se o menor número de brotos por metro para a associação do silício com o maturador Sulfometuron metil, diferindo da associação do elemento com o maturador Glifosate, o qual, por sua vez, revelou o maior valor para esta variável. Por outro lado, na safra subsequente, as plantas tratadas pela associação do silício com o maturador Sulfometuron metil apresentaram número de brotos por metro estatisticamente superior às plantas submetidas à ausência da aplicação dos tratamentos (testemunha), Glifosate, KNO_3 e $\text{KNO}_3 + \text{Si}$, os quais afetaram negativamente a capacidade de rebrotas da soqueira da cana-de-açúcar (Tabela 12).

Tais resultados discordam de LEITE & CRUSCIOL (2008) e, em parte de SIQUEIRA (2009), os quais determinaram o menor e o maior número de brotos por metro através do uso do Glifosate e para a testemunha (maturação natural), corroborando com outros resultados de pesquisas (ROMERO et al., 1998b, 2000), porém discorda de ROMERO et al. (1998a), os quais não constataram efeito prejudicial deste agente químico na brotação posterior da cana-de-açúcar.

No momento da avaliação da capacidade de rebrotas da soqueira da cana-de-açúcar, aos 60 DAC, quantificou-se a presença de antocianinas, carotenóides, clorofila (a+b) e compostos fenólicos totais nas folhas, cujos resultados encontram-se na Tabela 13.

Nas safras 2007 e 2008 o uso da associação do silício com o KNO_3 ocasionou elevado conteúdo de antocianina nas folhas da rebrotas da soqueira da cana-de-açúcar, diferindo dos demais tratamentos, os quais resultaram em conteúdo significativamente inferior. Todavia, na safra 2008 a menor presença de antocianinas foi determinada por meio da

aplicação isolada do KNO_3 , enquanto os demais tratamentos revelaram valores intermediários (Tabela 13).

Com relação ao teor de carotenóides, o emprego dos compostos químicos Glifosate, KNO_3 , Glifosate + Si, KNO_3 + Si, assim como a testemunha (maturação natural) induziram acréscimo no conteúdo de tal componente nas folhas da rebrota da soqueira da cana-de-açúcar, diferindo do uso foliar do silício, que resultou em valor significativamente inferior na safra 2007. No entanto na safra subsequente foi possível quantificar maior presença de carotenóides nas folhas da rebrota apenas para as plantas submetidas ao tratamento com Glifosate + Si, diferindo dos tratamentos Silício, Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil + Si, os quais apresentaram a menor presença deste componente (Tabela 13).

A análise do teor de clorofila (a+b) nas folhas da rebrota da cana-de-açúcar no primeiro ano de condução do experimento possibilitou afirmar que a aplicação do maturador Glifosate associado ao silício apresentou valor estatisticamente superior aos observados para os tratamentos Silício, Glifosate, Sulfometuron metil, KNO_3 + Si e Sulfometuron metil + Si. No segundo ano de condução do experimento a menor presença de clorofila (a+b) foi determinada para os tratamentos Silício, Glifosate, KNO_3 , e Sulfometuron metil + Si, diferindo das plantas caracterizadas pela ausência da aplicação dos tratamentos (testemunha), Sulfometuron metil, Glifosate + Si, e KNO_3 + Si, os quais revelaram elevado conteúdo do pigmento fotossintético (Tabela 13).

Pelos resultados obtidos quanto ao teor de clorofila (a+b) nas folhas da rebrota da cana-de-açúcar (Tabela 13) é possível constatar provável correlação positiva entre o conteúdo de silício fornecido ao vegetal via foliar e o conteúdo deste pigmento fotossintético. Segundo WANG & GALLETA (1998) a aplicação foliar de Si incrementou o teor de clorofila e o conteúdo de ácidos orgânicos em contrapartida ao declínio do conteúdo de carboidratos solúveis em plantas de morango, bem como incrementou nos níveis de glicolipídios e fosfolipídios, podendo contribuir para a manutenção da permeabilidade da membrana, induzindo à expansão celular e favorecendo o crescimento da planta. Os glicolipídios são importantes componentes dos cloroplastos e podem estar envolvidos no transporte de carboidratos e na fotoredução dos citocromos, respectivamente (BENSON, 1964; CHANG & LUNDIN, 1965), enquanto os fosfolipídios desempenham função chave na organização molecular das membranas (SIMON, 1974).

Na safra 2007 os tratamentos adotados não produziram efeito sobre o conteúdo de fenóis totais nas folhas da rebrota da soqueira da cana-de-açúcar, enquanto na safra 2008 quantificou-se maior conteúdo de compostos fenólicos totais através da aplicação do maturador Glifosate e do Sulfometuron metil associado ao silício, diferindo dos tratamentos Silício, Sulfometuron metil e $\text{KNO}_3 + \text{Si}$, os quais apresentaram reduzido conteúdo de tais compostos (Tabela 13).

Os dados contidos na Tabela 13 revelam o provável efeito residual dos produtos químicos e os diferentes mecanismos de ação sobre alguns componentes fisiológicos da rebrota da soqueira da cana-de-açúcar.

Nesse contexto, diversos trabalhos têm relatado a rápida translocação do glifosato das folhas da planta tratada para as raízes, rizomas e meristemas apicais como uma das mais importantes características deste composto (FRANZ, 1985; GRUYS & SIKORSKI, 1999). O Glifosate refere-se ao agente químico inibidor da enzima enol-piruvil-chiquimato-fosfato-sintase (EPSPs, E.C. 2.5.1.19), a qual está presente na rota de síntese dos aminoácidos de cadeia aromática (fenilalanina, tirosina e triptofano). A inibição de sua atividade bloqueia a síntese destes aminoácidos nos vegetais, ocasionando a inibição da síntese protéica e outros compostos aromáticos e produtos secundários importantes como vitaminas, hormônios, clorofila, fitoalexinas, alcalóides, lignina e antocianinas, acumulando um composto intermediário chamado chiquimato. O efeito estressante causado pela fitotoxidez estimula a produção de etileno, hormônio vegetal capaz de inibir o metabolismo de fosfolipídeos, aumentar a permeabilidade da membrana, causar perda de clorofila, inibir a divisão e a expansão celular e reduzir a síntese de DNA. Por fim, as possíveis associações destes eventos metabólicos culminam na paralisação do desenvolvimento vegetal (RODRIGUES, 1995; RIZZARD et al., 2004; RODRIGUES & LEITE, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2004; LEITE, 2005; NETTO, 2006).

Diversos trabalhos relatam que a clorofila é altamente sensível ao agente químico Glifosate e que a natureza aclorofílica do crescimento subsequente é uma notável característica das plantas que são expostas à dose subletal do herbicida, corroborando com as avaliações visuais dos campos experimentais e com os dados obtidos (Tabela 13) (WONG; 2000; SINGH, 2004). Também LEE (1981) concluiu que a diminuição da clorofila

em folhas de *Cyperus rotundus* foi precedida pelo declínio de carotenóides e ocorreu somente sob iluminação.

Segundo HULME (1971) e PANTASTICO (1975) os fenômenos relacionados com o amadurecimento incluem degradação das clorofilas a e b, degradação de pigmentos subjacentes e síntese de novos pigmentos, como os carotenóides, com elevação no teor de sólidos solúveis. Produtos que desencadeiam, direta ou indiretamente, a síntese endógena de etileno, por consequência são capazes de acelerar a degradação desta clorofila e a síntese de carotenóides (CASAS et al., 1989), corroborando com os dados obtidos e mostrados na Tabela 13 referentes ao uso do KNO_3 e Sulfometuron metil.

O uso do KNO_3 como indutor do processo de maturação decorre da inibição temporária ou da redução do ritmo de crescimento vegetativo por ocasionar injúria (ou estresse) química estimulando a síntese endógena do hormônio vegetal etileno, tendo em vista que a produção deste pela planta é favorecida por diversos fatores, sejam eles bióticos, abióticos ou xenobióticos (HARO et al., 2001; RODRIGUES & LEITE, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2004; LEITE, 2005; LEITE et al., 2009c). Da mesma forma, tem sido relatado por diversos autores o efeito estressante causado pela fitotoxidez decorrente da aplicação do Sulfometuron metil, o que estimula a produção de etileno pela planta (RODRIGUES, 1995; RIZZARD et al., 2004; RODRIGUES & LEITE, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2004; LEITE, 2005).

O etileno é capaz de promover alterações bioquímicas e morfológicas nos vegetais, isto é, alterações na estrutura de microtúbulos, na orientação de microfibrilas e no metabolismo do DNA, induz o aumento nas quantidades de mRNAs, responsáveis por codificar e ativar enzimas pré-formadas como a celulase, hemicelulase e a poligacturonase, que degradam a parede celular modificando a permeabilidade da membrana e outras enzimas responsáveis pelo metabolismo de compostos fenólicos, como por exemplo a lignina (RODRIGUES, 1995; CASTRO et al., 2001; RODRIGUES & LEITE, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2004; LEITE, 2005; LEITE et al., 2009c).

É importante ressaltar que associado aos tratamentos empregados, possivelmente outros fatores são capazes de afetar a produção de clorofila, antocianinas, e carotenóides (Tabela 13), dentre os quais a disponibilidade luminosa e de nitrogênio.

Segundo ENGEL & POGGIANI (1991), a eficiência fotossintética está ligada ao teor de clorofila das plantas, afetando o crescimento e influenciando a adaptabilidade das mesmas aos diversos ambientes. Em presença da luz é constantemente sintetizada e destruída pelo processo da foto-oxidação, sendo que a velocidade de decomposição é diretamente proporcional à intensidade luminosa muito alta, causando dessa forma prejuízos para a fotossíntese. Também GODOY et al. (2008) observaram que a variação da irradiância solar pode influenciar a redução do índice de relativo de clorofila com o decorrer do ciclo da cultura do café, pois com aumento da disponibilidade de luz, há menor necessidade de produção de clorofila, corroborando com CARELLI et al. (2006), os quais constataram que as folhas de cafeeiro têm a capacidade de se adaptar a alterações na disponibilidade de irradiância.

Além de presente em biomoléculas fundamentais, como proteínas e aminoácidos, o N é constituinte das clorofilas (MENGEL & KIRBY, 1987). A estrutura das clorofilas *a* e *b* é, basicamente, a mesma. Compõem-se da porção porfirina, constituída de quatro anéis de pirrol ligados por pontes de carbono-hidrogênio. O íon metálico Mg está inserido no centro da porfirina (MAGALHÃES, 1985). O ácido δ -aminolevulínico, um aminoácido não protéico, cuja via de biossíntese tem como precursor inicial o glutamato, é a molécula precursora da clorofila (KANNANGARA, 1991). Portanto, a disponibilidade de N orgânico na forma de glutamato pode influenciar fortemente a capacidade fotossintética das plantas.

Os compostos fenólicos são metabólicos secundários produzidos pelas plantas sem apresentarem função direta no seu crescimento e desenvolvimento, porém são fundamentais para o metabolismo vegetal (STRACK, 1997), cuja principal função está associada com a defesa vegetal contra fatores externos, bióticos e abióticos, pois se trata de um mecanismo de resistência bioquímico pré-formado pela planta (PASCHOLATI & LEITE, 1994), destacando-se dentro das classes mais importantes de compostos fenólicos a lignina, os flavonóides e os taninos (TAIZ & ZEIGER, 2004). Portanto, os resultados referentes ao teor de fenóis totais (Tabela 13) podem ser explicados pelos fatores supracitados, ou seja, agentes químicos e respectivos mecanismos de ação, estado nutricional da planta e condição climática.

Tabela 12. Rebrotos da soqueira da cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito de maturadores, associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2007/2008.

Tratamentos	Safra 2007	Safra 2008
	Número de brotos m ⁻¹	
	60 DAC ⁽¹⁾	
Testemunha	9,0 ab	11,0 c
Silício (Si)	10,0 ab	13,0 abc
Glifosate	10,0 ab	12,0 bc
KNO ₃	11,0 a	12,0 bc
Sulfometuron metil	10,0 ab	14,0 abc
Glifosate + Si	11,0 a	13,0 abc
KNO ₃ + Si	10,0 ab	12,0 bc
Sulfom. metil + Si	8,0 b	15,0 a
CV (%)	8,11	6,97

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 10 % de probabilidade.

⁽¹⁾ Dias após a colheita.

Tabela 13. Antocianinas, carotenóides, clorofila (a+b) e fenóis totais nas folhas da soqueira (rebrotada) da cana-de-açúcar variedade RB855453 sob efeito de maturadores, associados ou não ao silício, aos 60 dias após a colheita (DAC). Igarapu do Tietê, SP, safras 2007/2008.

	Antocianinas	Carotenóides	Clorofila (a + b)	Fenóis totais
	(µg g ⁻¹ matéria fresca)		(µg ácido gálico mg ⁻¹ matéria seca)	
Tratamentos	Safr 2007 – 60 DAC			
Testemunha	0,30 b	0,18 a	0,77 a	121,70 a
Silício (Si)	0,22 b	0,17 a	0,75 ab	131,85 a
Glifosate	0,29 b	0,12 b	0,59 cd	121,78 a
KNO ₃	0,30 b	0,15 ab	0,71 ab	129,78 a
Sulfom. metil	0,29 b	0,16 ab	0,67 abc	124,60 a
Glifosate + Si	0,29 b	0,16 ab	0,64 bcd	138,63 a
KNO ₃ + Si	0,51 a	0,15 ab	0,71 ab	128,40 a
Sulfom. metil + Si	0,26 b	0,12 b	0,52 d	128,10 a
CV (%)	14,18	10,78	7,75	8,25
Tratamentos	Safr 2008 – 60 DAC			
Testemunha	0,19 ab	0,14 ab	0,62 a	130,67 ab
Silício (Si)	0,13 d	0,11 bc	0,43 bc	107,08 bc
Glifosate	0,18 abc	0,11 bc	0,45 bc	133,88 a
KNO ₃	0,09 e	0,09 c	0,37 c	121,90 abc
Sulfom. metil	0,14 cd	0,14 ab	0,56 a	107,63 bc
Glifosate + Si	0,15 bcd	0,16 a	0,64 a	126,65 abc
KNO ₃ + Si	0,21 a	0,13 abc	0,58 a	104,50 c
Sulfom. metil + Si	0,16 bcd	0,11 bc	0,45 b	138,93 a
CV (%)	11,66	13,24	6,45	9,81

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10 % de probabilidade.

6.2 Experimentos conduzidos no final das safras 2006 e 2007

6.2.1 Maturadores associados a boro aplicados via foliar em cana-de-açúcar

6.2.1.1 Atividade das enzimas invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no caldo do terço superior do colmo

Na interação entre maturadores (aplicados de forma isolada ou em associação com o boro) x épocas de amostragem (dias após aplicação) nas safras 2006 e 2007 constata-se que, de modo geral, os níveis da SAI foram superiores aos níveis da NI e para cada época de amostragem a aplicação isolada dos maturadores diferiu da associação com o micronutriente, sendo que, independente da safra os tratamentos revelaram comportamentos distintos em promover a atividade dessas enzimas (Figura 32 e 33).

Na safra 2006, com relação à aplicação dos maturadores associados ao boro, houve aumento significativo na atividade da SAI com resposta quadrática para as plantas submetidas ao processo de maturação natural e ao uso do KNO_3 associado ao boro, com resposta decrescente até os 8 DAA ($49,80 \mu\text{g}$ de glicose g^{-1} matéria fresca) e até os 13 DAA ($37,48 \mu\text{g}$ de glicose g^{-1} matéria fresca), respectivamente (Figura 32). Com relação à aplicação do Glifosate associado ao boro houve incremento até os 7 DAA ($54,79 \mu\text{g}$ de glicose g^{-1} matéria fresca) seguido de decréscimo até os 30 DAA ($54,99 \mu\text{g}$ de glicose g^{-1} matéria fresca), sendo constatado padrão de comportamento semelhante para o tratamento Sulfometuron metil associado ao micronutriente, ou seja, aumento até os 6 DAA ($53,01 \mu\text{g}$ de glicose g^{-1} matéria fresca elevação) seguido de queda da atividade enzimática até os 29 DAA ($28,38 \mu\text{g}$ de glicose g^{-1} matéria fresca) e, em ambos os casos com posterior incremento (Figura 32). Quanto ao uso de KNO_3 associado ao boro, a atividade da SAI foi crescente até os 10 DAA ($70,31 \mu\text{g}$ de glicose g^{-1} matéria fresca) seguida de redução até os 18 DAA e estabilização dos níveis enzimáticos em $50,83 \mu\text{g}$ de glicose g^{-1} matéria fresca, enquanto com relação ao uso isolado

do Glifosate houve ajuste linear positivo com o transcorrer das épocas de avaliação (Figura 32).

Com relação à enzima NI, na safra 2006, a aplicação dos compostos químicos Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil associados ao boro induziram decréscimo da atividade até os 9 DAA (29,39 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 15 DAA (30,69 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) e 11 DAA (25,35 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), respectivamente, com posterior aumento. Por outro lado, a aplicação isolada dos agentes químicos supracitados foram ajustados a modelo linear crescente, sendo determinado nas plantas submetidas ao processo de maturação natural (testemunha) e à aplicação de boro foliar resposta quadrática, cujo ponto calculado de máxima atividade para o tratamento com boro ocorreu aos 38 DAA (65,20 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), não sendo possível determinar tal ponto para a testemunha dentro do período de amostragem (Figura 32).

Na safra 2007 os tratamentos elevaram de forma significativa os níveis enzimáticos da SAI seguido de decréscimo, sendo ajustados à modelos quadráticos, com exceção dos tratamentos $\text{KNO}_3 + \text{B}$ e Sulfometuron metil + B, os quais apresentaram resposta cúbica e linear, respectivamente (Figura 33). Para os tratamentos boro, Glifosate, Glifosate + B, KNO_3 e Sulfometuron metil o ponto calculado de máxima atividade da SAI foi aos 28 DAA (70,82 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 29 DAA (69,82 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 33 DAA (63,56 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 25 DAA (62,59 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) e 25 DAA (66,49 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), respectivamente (Figura 32). A aplicação do $\text{KNO}_3 + \text{B}$ ocasionou incremento nos níveis da SAI até os 10 DAA (70,76 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) com posterior declínio até os 42 DAA (45,94 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) seguido, novamente, da elevação da atividade (Figura 33).

Quanto à atividade da NI na safra 2007, os tratamentos boro, Glifosate, Glifosate + B e a testemunha (maturação natural) revelaram comportamento quadrático, cujo ponto calculado de máxima atividade foi determinado aos 34 (42,98 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 33 DAA (34,69 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 30 DAA (45,81 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) e 32 DAA (44,79 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), respectivamente, seguido de declínio (Figura 33). Os tratamentos KNO_3 e Sulfometuron metil foram ajustados a modelos lineares positivos, enquanto os compostos químicos KNO_3 e Sulfometuron metil associados ao micronutriente apresentaram comportamento ajustados a equações cúbicas, ou

seja, elevação nos níveis da NI até os 11 DAA (36,68 e 43,32 μg de glicose g^{-1} matéria fresca, respectivamente) com posterior redução até os 42 DAA (32,50 e 35,47 μg de glicose g^{-1} matéria fresca, respectivamente) e, em seguida, novo aumento da atividade (Figura 33).

A atividade das invertases (Figuras 33 e 34) pode ser explicada pelos diferentes mecanismos de ação dos produtos químicos empregados, associados ou não ao micronutriente, tendo em vista a redução da SAI e o incremento da NI, embora com variações no tempo (DAA) e na amplitude (Figuras 33 e 34), com menor influência das condições climáticas sobre o comportamento enzimático, em virtude do clima (Figura 1) estimular a retomada do crescimento vegetal com a conseqüente requisição de sacarose como fonte de carbono e energia para tal processo.

Pela Figura 1 a condição climática referente ao período (aplicação tardia dos tratamentos) não esclarecem totalmente o comportamento enzimático, tendo em vista a crescente disponibilidade hídrica e térmica entre os meses de setembro a dezembro nas safras 2006 e 2007, desfavorável à continuidade e/ou manutenção do processo de maturação natural da cana-de-açúcar. Ressalta-se que na safra 2006 o período após a aplicação dos tratamentos caracterizou-se por intensa precipitação pluvial, enquanto na safra 2007 o período foi marcado pela menor disponibilidade hídrica (Figura 1).

Em diversas espécies vegetais, nas folhas (local considerado como fonte), ocorre a síntese de carboidratos, os quais são translocados para os tecidos (drenos) na forma de sacarose, para suprir o metabolismo e desenvolvimento vegetal e/ou para o acúmulo na forma de sacarose ou amido. Esses processos são acompanhados por constantes mudanças nas relações fonte-dreno (ROITSCH & GONZÁLEZ, 2004). O metabolismo de partição e acúmulo de sacarose é vital em todas as fases do ciclo de vida vegetal e sua utilização como fonte de energia e de carbono requer sua hidrólise. As invertases quebram a sacarose em hexoses e, assim, disponibilizam às células carbono e energia para o processo de respiração, bem como energia para a síntese de numerosos compostos diferenciados. As invertases podem, ainda, estar envolvidas no transporte de sacarose a longas distâncias por criar o gradiente de concentração de sacarose entre os sítios de carregamento e descarregamento do floema, revelando função fundamental na partição dos fotossintetizados entre armazenamento e crescimento (ESCHRICH, 1980).

A invertase ácida solúvel tem sido relacionada à tecidos imaturos, sendo sua atividade alta ou baixa, respectivamente, em condições favoráveis ou desfavoráveis ao crescimento vegetativo, como por exemplo, estresse hídrico, fotoperíodo curto, temperaturas baixas e aplicação de maturadores, com correlação estreita e inversa com o conteúdo de sacarose e açúcares totais nos colmos (GAYLER & GLASZIOU, 1972; LEGENDRE, 1975; HAWKER, 1985; SU et al., 1992; VIEIRA et al., 1996b; ZHU et al., 1997; LINGLE, 1999; TERAUCHI et al., 2000; LEITE 2005). Diversos estudos evidenciam a atuação da SAI no processo de osmorregulação, haja visto que a expansão celular dos tecidos imaturos requer hexoses como fonte de energia e carbono e depende da direção da força de alongamento celular, consequência da manutenção da pressão osmótica celular e do aumento da extensibilidade da parede celular (GAYLER & GLASZIOU, 1972; GIBEAUT et al., 1990).

Por outro lado, a invertase neutra tem sido relacionada à maturidade dos tecidos, onde os processos de crescimento estão praticamente finalizados, havendo declínio da concentração da SAI com consequente predomínio da NI, sendo capaz de governar o acúmulo ativo de sacarose nos vacúolos das células parenquimáticas dos colmos (HATCH & GLASZIOU, 1963; RICARDO & SOVIA, 1974; VIEIRA et al., 1996a; LINGLE, 1999).

Para LEITE et al. (2009) a eficiência agronômica dos maturadores com diferentes mecanismos de ação na variedade SP80-3280 (maturação média-tardia) foi afetada pelo clima e pela época de aplicação (10/05/2004 ou 04/08/2005), isto é, níveis superiores da SAI em relação à NI na safra 2004 e comportamento inverso na safra 2005. Segundo os autores, o ambiente favorável ao desenvolvimento vegetativo da planta em 2004 acarretou na necessidade de açúcares (glicose e frutose) para a manutenção do metabolismo induzindo a elevada atividade da SAI, enquanto em 2005 o ambiente propiciou condições adequadas ao processo de maturação natural aliado ao controle genético de tal processo, característica genética intrínseca à variedade, aliado à aplicação tardia dos tratamentos (04/08/2005) contribuiu para a elevada atividade da NI.

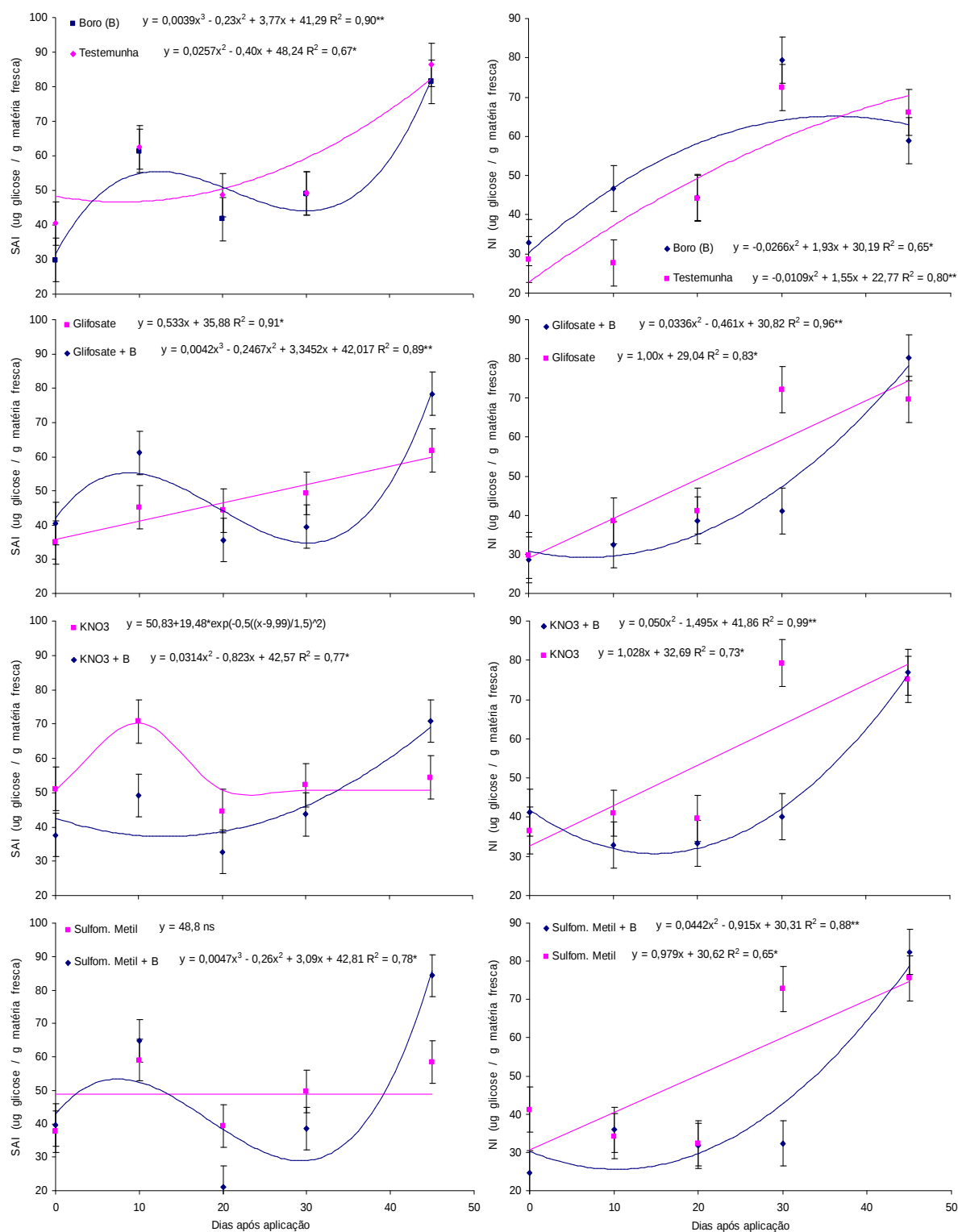


Figura 32. Atividade das enzimas invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarau do Tietê (SP), safra 2006. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.

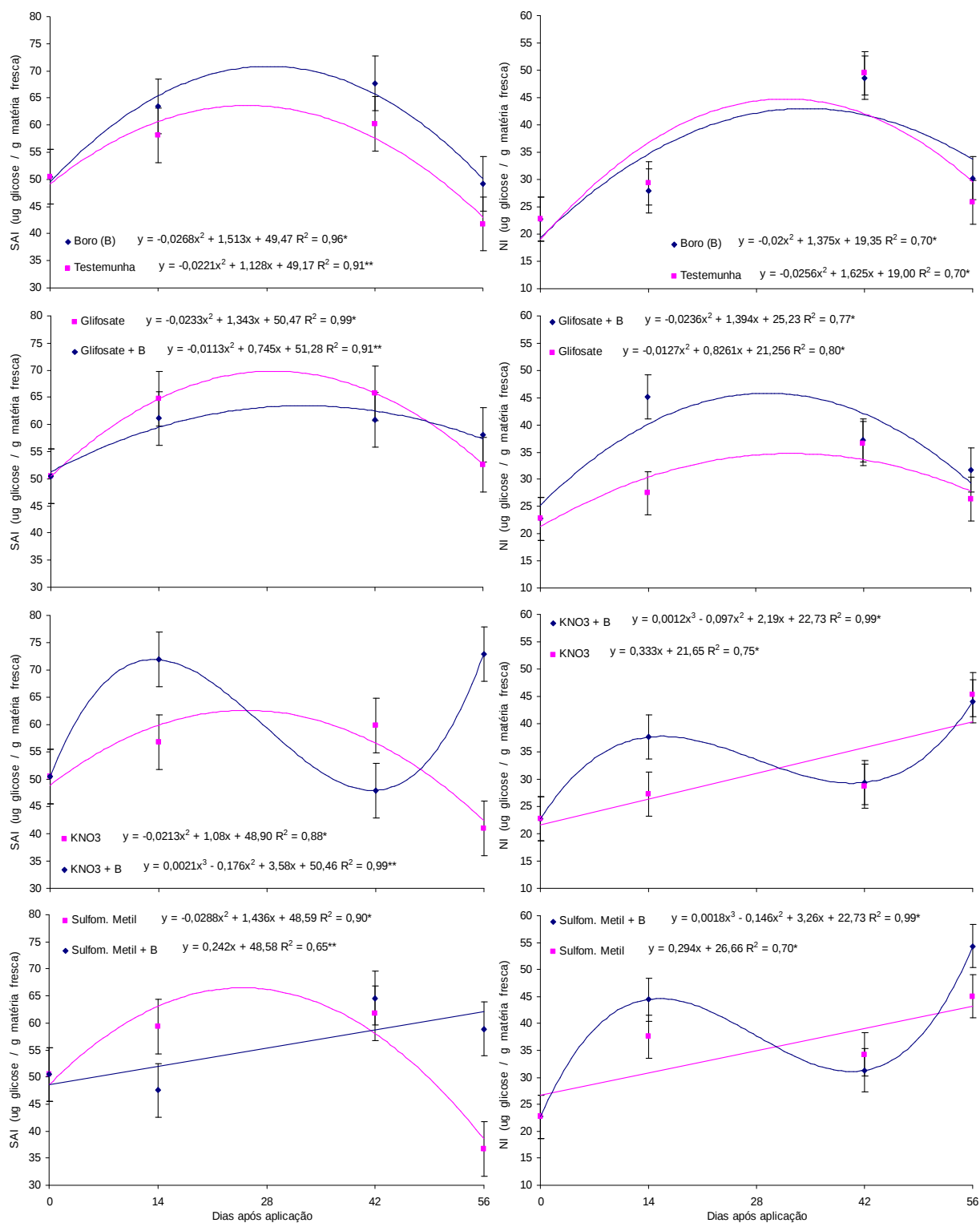


Figura 33. Atividade das enzimas invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarau do Tietê (SP), safra 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.

6.2.1.2 Teor de boro nas folhas da cana-de-açúcar

Na Figura 34 estão contidos os resultados referentes à determinação do micronutriente nas folhas da cana-de-açúcar (folha +3) conforme os tratamentos adotados e as épocas de avaliação. Na instalação do experimento não houve diferença significativa entre os tratamentos, contudo, a aplicação do micronutriente, isolado ou associado aos maturadores, ocasionou aumento no teor de boro na matéria seca das folhas da cana-de-açúcar, cujos valores foram estatisticamente superiores em comparação aos tratamentos caracterizados pela ausência do uso do micronutriente.

Independente da safra as plantas submetidas à aplicação do micronutriente, isolado e associado aos maturadores, apresentaram resposta expressa por modelo quadrático positivo, cujos máximos valores calculados na safra 2006 foram obtidos aos 18 DAA (21,75 mg kg⁻¹ de matéria seca), 18 DAA (22,09 mg kg⁻¹ de matéria seca), 18 DAA (21,98 mg kg⁻¹ de matéria seca) e 18 DAA (18,72 mg kg⁻¹ de matéria seca) para os tratamentos boro, Glifosate + B, KNO₃ + B e Sulfometuron metil + B, respectivamente. Na safra 2007 tais valores ocorreram aos 23 DAA (26,41 mg kg⁻¹ de matéria seca), 22 DAA (23,61 mg kg⁻¹ de matéria seca), 24 DAA (22,91 mg kg⁻¹ de matéria seca) e 22 DAA (23,24 mg kg⁻¹ de matéria seca) para os mesmos tratamentos supracitados (Figura 34).

Na comparação dos resultados obtidos e mostrados na Figura 34 com os teores foliares de boro encontrados na literatura para a cultura da cana-de-açúcar, é possível constatar que, independente da safra, foi quantificado na matéria seca das folhas teores julgados abaixo e/ou próximos do nível crítico e adequado para a cultura, ou seja, 10 a 30 mg kg⁻¹, segundo RAIJ et al. (1996). Por outro lado, a aplicação foliar do micronutriente, isolado ou associado aos diferentes produtos químicos elevou de forma significativa os teores do elemento (Figura 34), com reflexos nos parâmetros tecnológicos e biométricos.

Relatos na literatura informam que o nutriente é considerado imóvel no floema para a maioria das espécies de plantas (OERTLI & RICHARDSON, 1970), porém em espécies nas quais os álcoois de açúcar e os polióis (sorbitol, manitol e dulcitol) são as principais formas de exportação de carbono das folhas, o boro tem sido reconhecido com variados graus de mobilidade no floema (BROWN & SHELPS, 1997). Segundo MARSCHNER (1995) alguns o-difenólicos, como o ácido caféico e o ácido hidroxiferúlico, os quais são

importantes precursores da biossíntese da lignina, possuem a configuração cis-diol e, conseqüentemente, formam complexos boratos estáveis, importantes para a mobilidade do micronutriente. Todavia, GOOR & LUNE (1980) e SHU et al. (1994) ressaltam que a absorção de B, aplicado via foliar, pode ser influenciada por diferentes fatores, dentre os quais a espécie vegetal, concentração da solução de aplicação, a permeabilidade da cutícula foliar, a umidade relativa do ar, a idade da folha utilizada na aplicação e o número de vezes que a aplicação foi realizada, sucessivamente.

Os dados referentes ao teor de boro na matéria seca das folhas de cana-de-açúcar (Figura 34) nas plantas caracterizadas pela ausência da aplicação foliar do micronutriente podem ser explicados pela disponibilidade hídrica do período (Figura 1). Nesse contexto, FLEMING (1980) relatou que a disponibilidade de B geralmente diminui em solos secos, tornando a deficiência de B mais freqüente. Isso pode ser devido às plantas encontrarem quantidade reduzida de B disponível quando extraem água de profundidades maiores durante os períodos de seca. COSTA & OLIVEIRA (2001) concordam que os sintomas de deficiência de B são mais severos sob condições de estresse hídrico, mas atribuem isso à diminuição da decomposição da matéria orgânica (uma importante fonte de B) e ao menor desenvolvimento do sistema radicular, que, explorando menor volume de solo, absorve menos B. BROWN et al. (1999) confirmaram a translocação de B mediada por sorbitol no floema em plantas de fumo geneticamente modificadas para sintetizar sorbitol, evidenciando aumento na síntese de sorbitol e na mobilidade do B, implicando no crescimento da planta e na produtividade pelo fato de ter auxiliado a superar deficiências transitórias de B no solo.

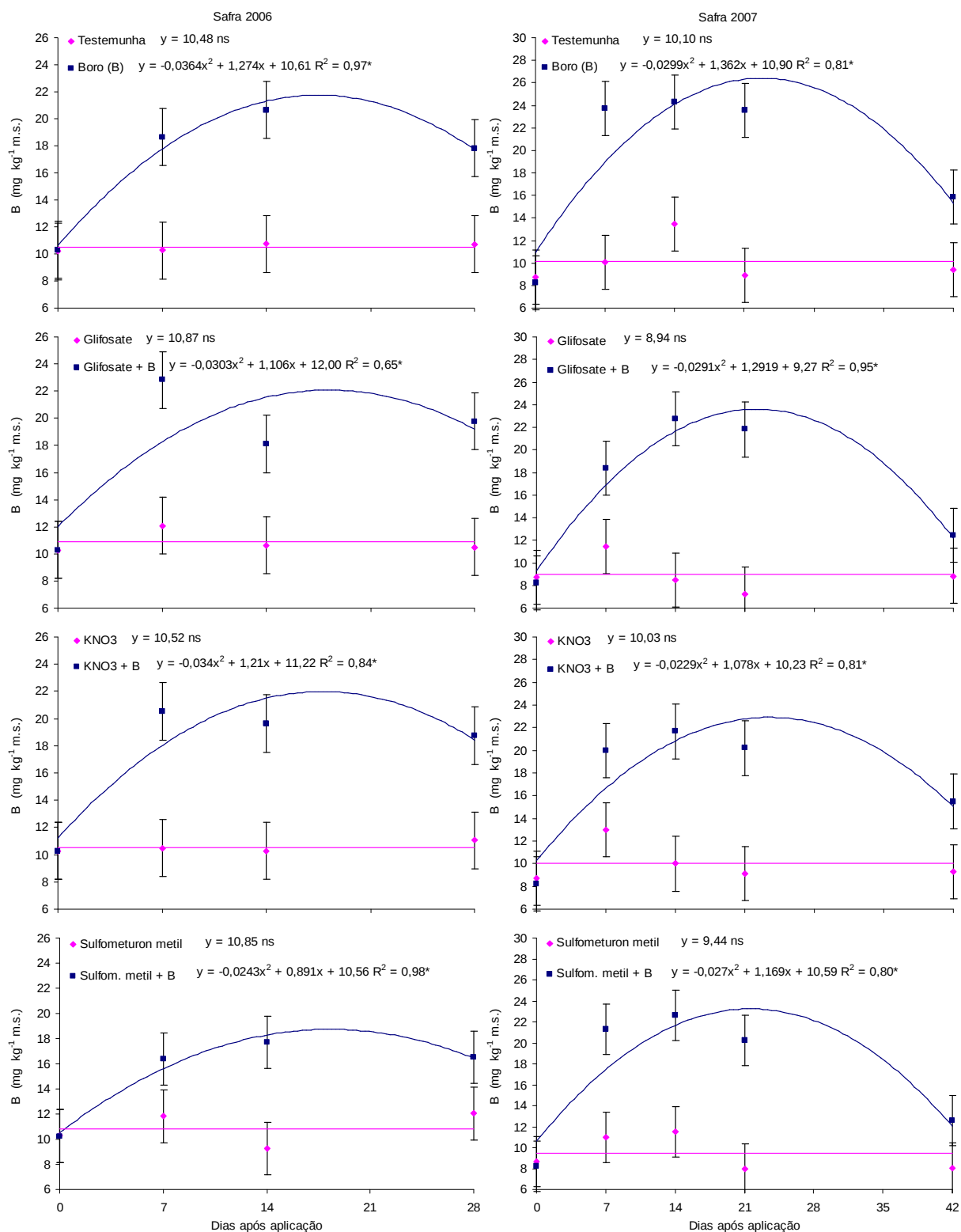


Figura 34. Teor de boro em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarapé do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

6.2.1.3 Altura das plantas e diâmetro dos colmos

Os valores da altura das plantas e do diâmetro dos colmos para as duas safras de condução do experimento estão contidos na Tabela 14, não sendo determinada variações em nenhuma das variáveis na instalação do experimento.

Com relação à altura de plantas na colheita do experimento na safra 2006 (45 DAA), as plantas do tratamento controle (maturação natural) apresentaram a maior altura, diferindo significativamente dos tratamentos Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + B, o qual, por sua vez, acarretou no menor valor de altura de plantas (Tabela 14). Na safra 2007, aos 56 DAA, determinou-se a maior altura de plantas na ausência de maturadores (controle) e na presença de boro foliar, diferindo dos demais tratamentos (Tabela 14).

Na comparação entre épocas os tratamentos KNO_3 , Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + B foram eficientes em retardar o processo de crescimento em altura das plantas de cana-de-açúcar na safra 2006, enquanto na safra subsequente comportamento semelhante foi constatado por meio da aplicação dos agentes químicos Glifosate, KNO_3 , Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + B (Tabela 14).

Com relação ao diâmetro dos colmos aos 45 DAA na safra 2006, determinou-se nas plantas submetidas à utilização de boro foliar valores significativamente superiores em relação aos tratamentos Glifosate e Glifosate + B, sendo observado na comparação entre épocas que as plantas tratadas com Glifosate, KNO_3 , Sulfometuron metil e Glifosate + B não apresentaram alterações no diâmetro (Tabela 14). Por outro lado, aos 56 DAA na safra 2007, inclusive na comparação entre a instalação (0DAA) e a colheita do experimento (56 DAA), os tratamentos não afetaram tal parâmetro (Tabela 14).

ROMERO et al. (1998a) constataram que a aplicação de Glifosate reduziu a taxa de crescimento da planta e correlacionaram a dose empregada com o efeito inibitório. Todavia, relataram que aplicações no final de março causaram reduções mais severas na altura em comparação às aplicações no mês de abril e início de maio.

O glifosato inibe a atividade da enzima EPSPS (5-nolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase) e evita a conversão de chiquimato à corismato e a biossíntese dos aminoácidos fenilalanina, tirosina e triptofano, precursores de compostos secundários, entre eles os hormônios vegetais (RIZZARD et al., 2004). Assim, a biossíntese do ácido indolil

acético (AIA) é inibida, uma vez que é sintetizado a partir do triptofano, o qual tem importante função quanto à promoção do alongamento e da divisão celular que se refletem no crescimento em altura das plantas (RODRIGUES & LEITE, 2004).

O sulfometuron metil atua pela inibição não competitiva da enzima ALS (acetolactato sintase) ou AHAS (acetohidroxi sintase), na rota de síntese dos aminoácidos ramificados – valina, leucina e isoleucina –, e interfere na síntese protéica, no balanço hormonal e na síntese de DNA, o que implica a paralisação do crescimento (RIZZARD et al., 2004).

O uso do nitrato de potássio (KNO_3) tem possibilitado sua atuação como indutor do processo de maturação decorrente da inibição temporária ou redução do ritmo de crescimento vegetativo, uma vez que se caracterizam por ocasionar injúria (ou estresse) química, capaz de estimular a síntese endógena do hormônio vegetal etileno, tendo em vista que a produção deste pela planta é favorecida por diversos fatores, sejam eles bióticos, abióticos ou xenobióticos (HARO et al., 2001; RODRIGUES & LEITE, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2004; LEITE, 2005; LEITE et al., 2009c).

Os resultados obtidos quanto à altura das plantas e diâmetro dos colmos (Tabela 14) podem ser explicados pela disponibilidade hídrica (Figura 1) e pelos níveis enzimáticos da SAI e NI (Figura 34). Segundo TAIZ & ZEIGER (2004) a expansão foliar e o alongamento celular são processos extremamente sensíveis à situações de déficit hídrico decorrente do decréscimo do volume celular e conseqüente redução da pressão de turgor, a qual afeta diretamente a expansão celular, associado, ainda, à limitação da taxa fotossintética no interior do cloroplasto em resposta ao fechamento estomático.

Segundo diversos autores a água consiste num recurso essencial e limitante para a produtividade agrícola, constituindo o meio onde moléculas movimentam-se dentro de células e entre elas, influenciando a estrutura de proteínas, ácidos nucléicos, polissacarídeos e outros constituintes celulares e, sobretudo, forma o ambiente onde ocorre a maioria das reações bioquímicas celulares, com participação direta em diversas reações químicas essenciais. No complexo fotossintético (fotossistema II) é responsável pela oxidação da molécula de água, com a remoção de elétrons, oxigênio e hidrogênio. Os prótons produzidos por este sistema bioquímico são liberados dentro do lume do tilacóide e transferidos para o estroma por translocação pela ATP sintase, contribuindo para o potencial

eletro-químico operante na formação do ATP, composto altamente energético utilizado para a formação de açúcares na fase bioquímica da fotossíntese (TAIZ & ZEIGER, 2004; FIGUEIREDO, 2006C; FIGUEIREDO, 2008).

As plantas não deficientes em água aumentam sua taxa fotossintética e o transporte de sacarose e açúcares, direcionando a sacarose para o armazenamento e os açúcares (glicose e frutose) para a manutenção do metabolismo e crescimento. Por outro lado, plantas sob déficit hídrico mantêm o processo de fotossíntese, embora em taxa reduzida, com a produção de menor quantidade de açúcares, todavia são efetivamente armazenados nos colmos decorrente de sua pequena utilidade fisiológica (ALEXANDER, 1973; RODRIGUES, 1995; TAIZ & ZEIGER, 2004).

De acordo com MARSCHNER (1995) o boro é um elemento essencial para a atividade meristemática da planta, aliado às suas funções na fisiologia vegetal, tais como o transporte de açúcares pela membrana, síntese, integridade e lignificação da parede celular, com significativa influência na expansibilidade das células (GUPTA, 1979). GOLDBACH & AMBELEER (1986) enfatizaram que a carência de boro pode ocasionar diversos sintomas, dentre os quais o encurtamento dos internódios, folhas menores e deformadas e a inibição do crescimento em extensão e crescimento apical.

Tabela 14. Altura das plantas e diâmetro dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito de maturadores, associados ou não ao boro, na instalação e na colheita do experimento. Igarapu do Tietê, SP, safras 2006/2007.

Tratamentos	Safr 2006		Safr 2007	
	0 DAA ⁽¹⁾	45 DAA ⁽¹⁾	0 DAA ⁽¹⁾	56 DAA ⁽¹⁾
	Altura das plantas (metros)			
Testemunha	2,55 aB	2,91 aA	2,06 aB	2,39 aA
Boro (B)	2,59 aB	2,83 abcA	2,00 aB	2,43 aA
Glifosate	2,56 aB	2,73 abcA	1,98 aA	2,04 bA
KNO ₃	2,65 aA	2,75 abcA	2,04 aA	2,10 bA
Sulfometuron metil	2,67 aA	2,70 bcA	2,02 aA	2,04 bA
Glifosate + B	2,57 aB	2,74 abcA	2,02 aB	2,14 bA
KNO ₃ + B	2,66 aB	2,88 abA	1,99 aB	2,17 bA
Sulfom. metil + B	2,53 aA	2,67 cA	2,07 aA	2,15 bA
CV (%)	4,95		3,66	
Diâmetro dos colmos (milímetros)				
Testemunha	27,73 aB	29,35 abA	25,09 aA	26,73 aA
Boro (B)	27,68 aB	29,90 aA	25,07 aA	26,86 aA
Glifosate	28,06 aA	28,09 bA	25,85 aA	26,51 aA
KNO ₃	28,05 aA	29,27 abA	26,08 aA	26,60 aA
Sulfometuron metil	27,77 aA	28,64 abA	26,63 aA	27,17 aA
Glifosate + B	27,73 aA	27,94 bA	25,22 aA	25,95 aA
KNO ₃ + B	27,77 aB	29,12 abA	25,73 aA	26,10 aA
Sulfom. metil + B	27,09 aB	29,08 abA	25,03 aA	27,72 aA
CV (%)	3,59		5,83	

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10 % de probabilidade.

⁽¹⁾ Dias após a aplicação.

6.2.1.4 Parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar referentes ao 1/3 superior e aos 2/3 inferiores (porção mediana e basal) dos colmos

Nas Figuras 35 a 38 encontram-se os resultados obtidos para os parâmetros tecnológicos no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar, sendo possível constatar interação significativa para os tratamentos (testemunha, boro e maturadores, associados ou não ao micronutriente) e épocas de amostragem.

Pela Figura 35 referente à pol cana, de modo geral, a aplicação isolada do micronutriente em comparação à maturação natural, principalmente com relação ao uso dos maturadores isolados e a associação com o micronutriente, evidenciou o efeito significativo do boro, embora com magnitude variável, em induzir o acúmulo de sacarose na porção apical dos colmos da cana-de-açúcar.

Os tratamentos Boro e Glifosate + B elevaram os teores de sacarose no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar com o transcorrer das épocas de amostragem na safra 2006, com máximo acúmulo de sacarose aos 5 DAA e 6 DAA, cujos teores calculados foram 12,35 % e 12,55 %, respectivamente; enquanto a aplicação dos agentes químicos KNO_3 + B e Sulfometuron metil foram ajustados a modelo quadrático negativo, sendo determinado para o KNO_3 + B redução no valor de pol até os 32 DAA (PCC = 10,51 %) (Figura 35).

Na safra 2007 a aplicação de boro, Glifosate, KNO_3 , KNO_3 + B, Sulfometuron metil, Sulfometuron metil + B e a testemunha (maturação natural) induziram aumento significativo de sacarose com repostas quadráticas e crescentes até os 16 DAA, 18 DAA, 14 DAA, 17 DAA, 10 DAA, 14 DAA e 17 DAA, respectivamente, cujos teores calculados foram 13,14 %, 12,87 %, 12,66 %, 13,27 %, 12,72 %, 12,72 % e 13,27 %, respectivamente; enquanto para o tratamento Glifosate + B tal resposta ocorreu aos 14 DAA, cujo teor calculado foi de 13,20 % (Figura 35).

Pelos resultados mostrados na Figura 36, 37 e 38 é possível constatar que houve comportamento diferenciado entre os tratamentos com relação aos parâmetros tecnológicos pureza do caldo, açúcares redutores e fibra no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar e, de forma geral, a combinação do micronutriente com os maturadores e sua aplicação isolada em relação à maturação natural, praticamente não diferiram entre si.

Para a pureza do caldo, na safra 2006, foi determinado ajuste linear decrescente para o tratamento Sulfometuron metil, enquanto para os tratamentos boro e Glifosate + B determinou-se ponto de máxima pureza do caldo aos 11 DAA (83,75 %) e 8 DAA (86,51 %), respectivamente (Figura 36). Na safra posterior houve ajuste quadrático crescente até os 20 DAA (86,15 %), 23 DAA (86,67 %), 23 DAA (85,55 %), 20 DAA (85,62 %), 17 DAA (84,93 DAA), 23 DAA (85,99 %) e 21 DAA (86,56 %) para os tratamentos boro, Glifosate, KNO_3 , KNO_3 + B, Sulfometuron metil, Sulfometuron metil + B e testemunha (maturação natural), respectivamente, enquanto pela associação do micronutriente com o Glifosate determinou-se ajuste linear negativo (Figura 36).

Com relação ao teor de açúcares redutores no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar na safra 2006, os tratamentos boro, Glifosate + B, KNO_3 + B e Sulfometuron metil proporcionaram decréscimos até os 12 DAA (0,55 %), 10 DAA (0,51 %), 8 DAA (0,59 %) e 9 DAA (0,60 %), respectivamente, seguido da estabilização dos níveis de açúcares (Figura 37).

Na safra 2007 para os tratamentos testemunha (maturação natural), boro, Glifosate, KNO_3 , KNO_3 + B, Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + B (Figura 35) houve ajuste quadrático, cujo ponto de mínimo calculado ocorreu aos 21 DAA (0,50 %), 21 DAA (0,51 %), 23 DAA (0,51 %), 23 DAA (0,54 %), 20 DAA (0,53 %), 20 DAA (0,53 %) e 23 DAA (0,51 %), respectivamente (Figura 37).

Os tratamentos Glifosate, KNO_3 + B e Sulfometuron metil + B, quanto ao teor de fibras no terço superior dos colmos no primeiro ano de condução do experimento, foram ajustados à modelos quadráticos positivos, sendo determinado o ponto calculado de máximo teor de fibras aos 23 DAA (18,19 %), 21 DAA (17,59 %) e 25 DAA (17,41 %), respectivamente; enquanto na safra subsequente somente a aplicação de Sulfometuron metil produziu efeito sobre tal parâmetro tecnológico, com ajuste quadrático e máximo teor de fibras calculado aos 26 DAA (19,80 %) (Figura 38).

Na Figura 39 encontram-se os resultados obtidos para o parâmetro tecnológico pol cana nos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar, sendo possível constatar interação significativa para os tratamentos (testemunha, boro e maturadores, associados ou não ao micronutriente) e épocas de amostragem, principalmente no primeiro ano de condução do experimento, sendo determinada respostas distintas para os tratamentos.

Na safra 2006 os tratamentos testemunha (maturação natural), boro, Glifosate, Glifosate + B, KNO_3 e Sulfometuron metil + B apresentaram comportamento expresso por modelo quadrático, cujo máximo teor de sacarose calculado ocorreu aos 20 DAA (16,85 %), 22 DAA (16,74 %), 21 DAA (16,73 %), 22 DAA (18,38 %), 20 DAA (16,66 %) e 22 DAA (16,82 %), respectivamente, determinando-se na safra 2007 resposta semelhante para o tratamento Sulfometuron metil, com máximo valor calculado de pol cana aos 24 DAA (17,67 %). Por outro lado, no segundo ano de condução do experimento, os tratamentos KNO_3 + B e Sulfometuron metil + B elevaram o valor de PCC até os 24 DAA (18,87 %) e 12 DAA (18,07 %) com posterior declínio (Figura 39).

Para os demais parâmetros tecnológicos determinados na porção basal e mediana dos colmos, isto é, pureza do caldo, açúcares redutores cana e fibra cana, pelo desdobramento dos tratamentos dentro de cada nível de amostragem (DAA) é possível constatar que, de forma geral, os tratamentos produziram efeito sobre tais parâmetros, todavia sem diferenças estatísticas entre si (Figuras 40 a 42).

Com relação à pureza do caldo, na safra 2006 os tratamentos KNO_3 + B e Sulfometuron metil revelaram tendência linear crescente com o transcorrer das épocas de amostragem, enquanto na safra 2007 estes tratamentos foram ajustados à modelos quadráticos, com máxima pureza aos 28 DAA (90,30 %) e 28 DAA (89,99 %), respectivamente (Figura 40).

Por meio da Figura 41, referente à presença de açúcares redutores na porção basal e mediana dos colmos da cana-de-açúcar, é possível constatar efeito inverso ao determinado para o parâmetro tecnológico pureza do caldo (Figura 40) para os mesmos tratamentos supracitados, isto é, KNO_3 + B e Sulfometuron metil, sendo ajustados a equações lineares decrescentes na safra 2006 e, na safra 2007, comportamento quadrático com menor valor de AR cana aos 28 DAA (0,45 %) e 28 DAA (0,45 %), respectivamente (Figura 41).

Os dados referentes aos teores de fibra da cana-de-açúcar na porção basal e mediana dos colmos da cana-de-açúcar estão contidos na Figura 42, sendo possível afirmar que os tratamentos influenciaram tal parâmetro apenas na safra 2006, apresentando tendência linear crescente com o transcorrer das épocas de amostragem, porém sem diferenças significativas entre si.

Na literatura praticamente são inexistentes os dados relacionados à qualidade tecnológica da matéria-prima pelo uso de maturadores, isolados ou associados ao boro, em final de safra, principalmente tratando-se do fracionamento dos colmos da cana-de-açúcar. Nesse contexto, os resultados referentes aos parâmetros tecnológicos determinados no 1/3 superior e nos 2/3 inferiores dos colmos (Figuras 35 a 42) comprovam a significativa influência das condições climáticas (Figura 1) sobre o processo de maturação da cana-de-açúcar, principalmente quanto às diferenças na disponibilidade hídrica entre as safras, de modo que, de forma geral, os compostos químicos possibilitaram a manutenção de elevados teores de sacarose nos colmos, sendo o dissacarídeo acumulado no período favorável ao repouso fisiológico, porém reutilizado como fonte de carbono e energia na retomada do desenvolvimento vegetal, decorrente das condições climáticas propícias à tal processo, correlacionando-se com a atividade das enzimas SAI e NI (Figuras 32 e 33). É importante ressaltar o efeito da aplicação foliar do micronutriente associado aos produtos químicos em induzir o significativo acúmulo de sacarose nas distintas porções dos colmos.

Diversos trabalhos têm enfatizado a essencialidade do boro na germinação dos grãos de pólen e no crescimento do tubo polínico, assim como no metabolismo fenólico e protéico, na integridade e funcionamento das membranas celulares. Desempenha também, importante papel na migração e metabolismo de carboidratos, facilitando o transporte dos açúcares através das membranas, na forma do complexo açúcar-borato (MALAVOLTA, 1980; MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA et al., 1997), de forma que, aliado ao mecanismo de ação dos produtos químicos, podem explicar a melhoria na qualidade tecnológica dos colmos da cana-de-açúcar determinadas no 1/3 superior e nos 2/3 inferiores, conforme revelam os dados mostrados nas Figuras 5, 6, 9 e 10. Além do que, comprovadamente, a deficiência de boro é acompanhada pela produção de calose, obstruindo os tubos crivados, com conseqüente efeito adverso no transporte da seiva elaborada (MALAVOLTA et al., 1997).

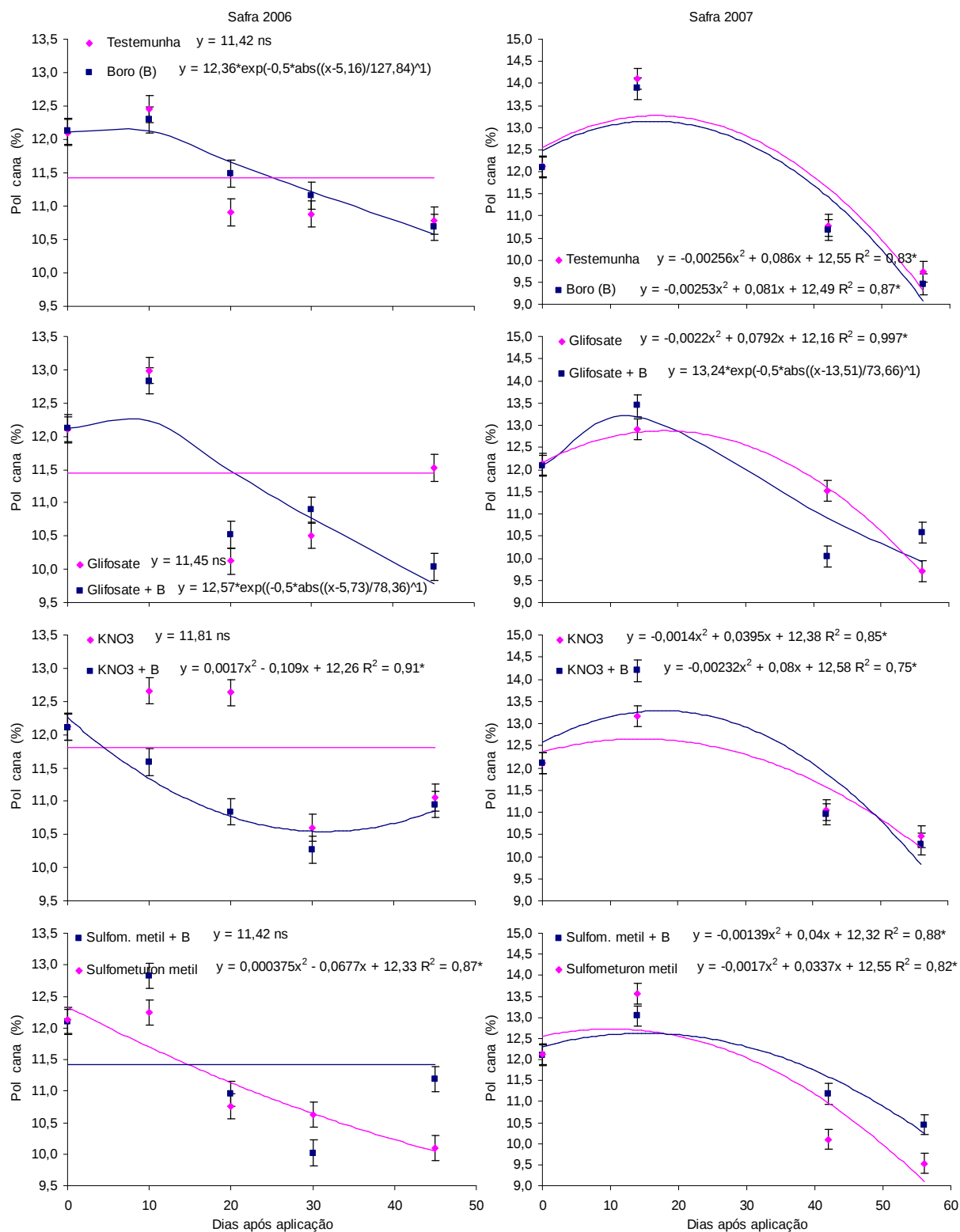


Figura 35. Pol cana (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarauçu do Tietê (SP), safras 2006 e 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

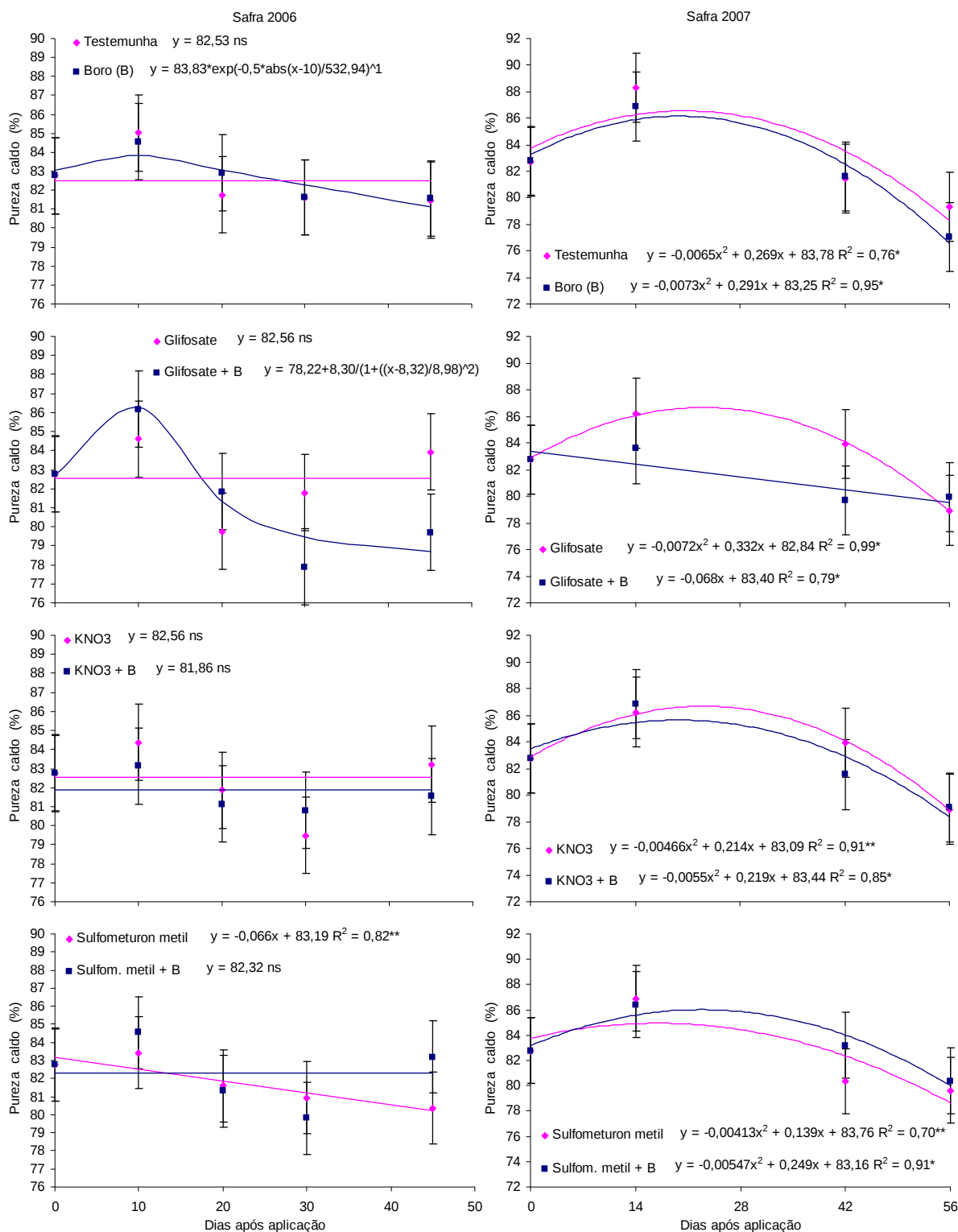


Figura 36. Pureza do caldo (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarçu do Tietê (SP), safras 2006 e 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

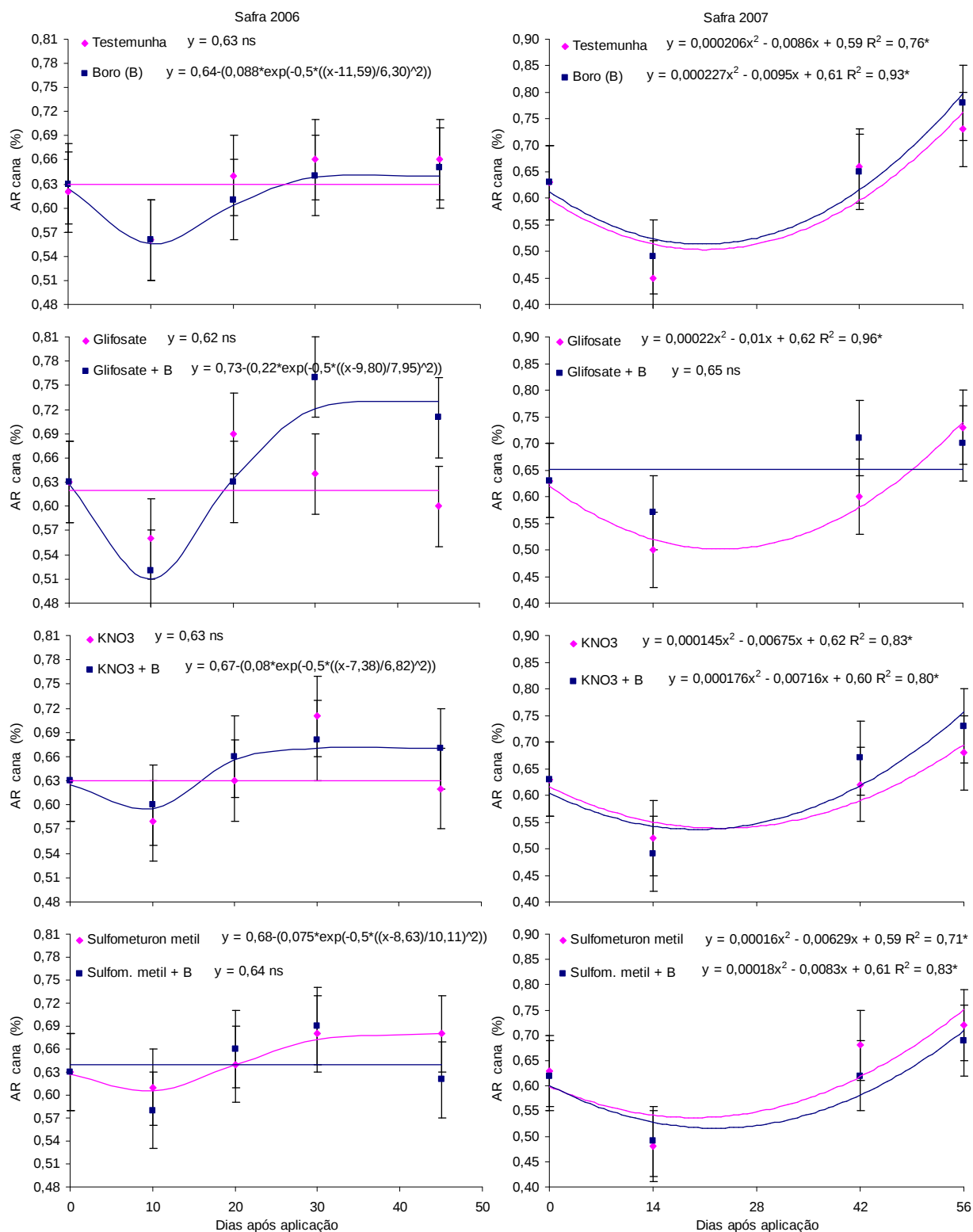


Figura 37. Açúcares redutores cana (AR cana, %) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarapu do Tietê (SP), safras 2006 e 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

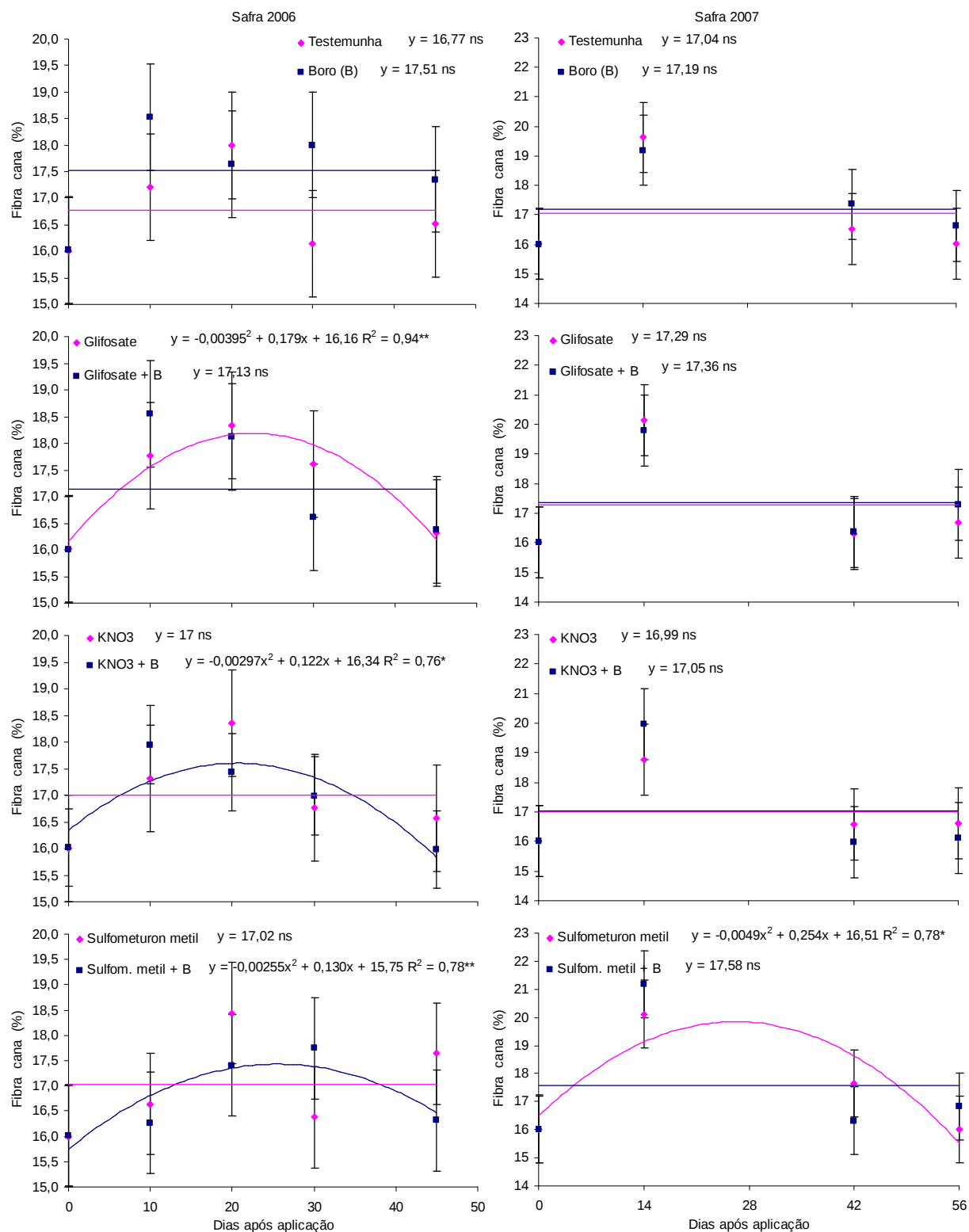


Figura 38. Fibra cana (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarau do Tietê (SP), safras 2006 e 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

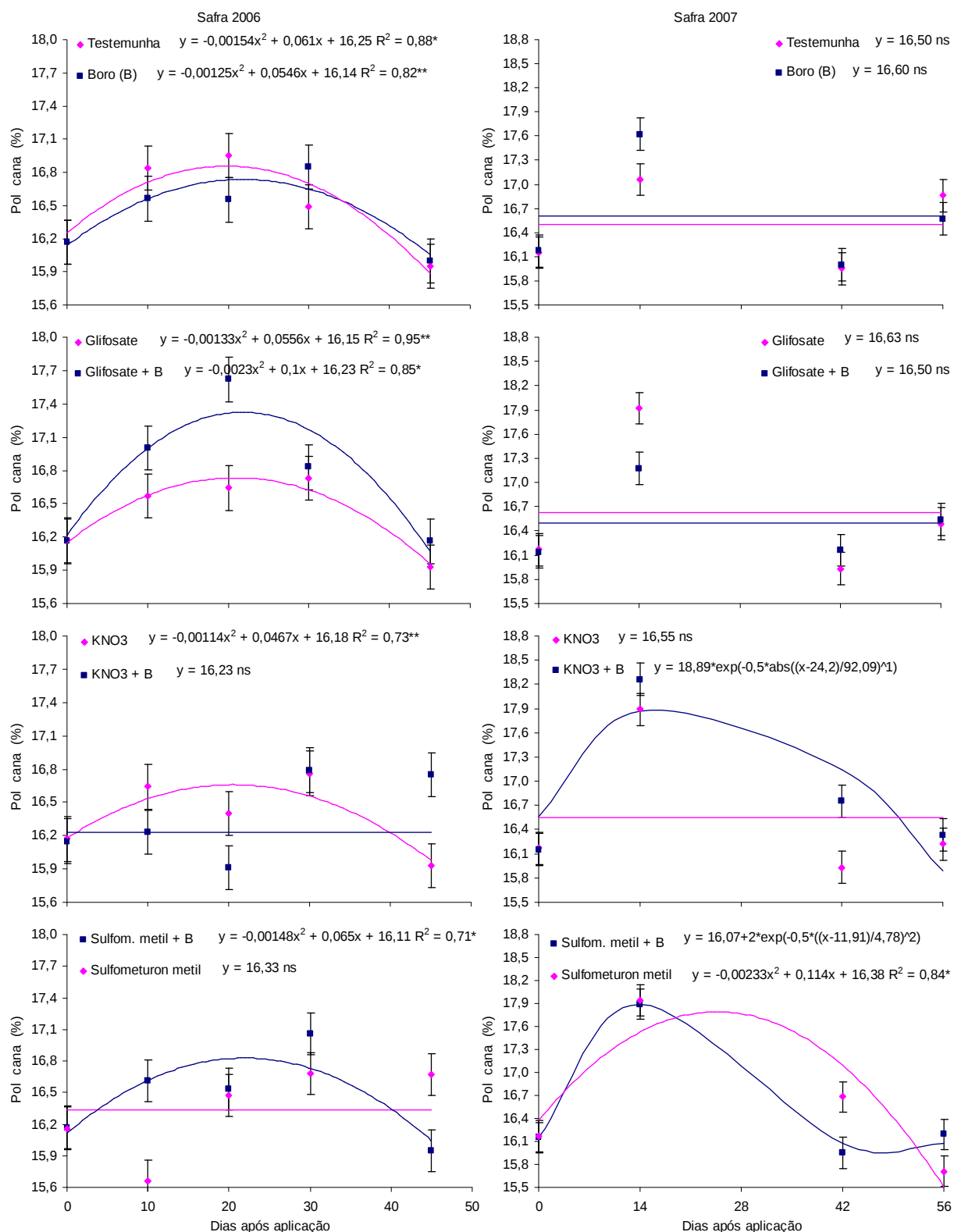


Figura 39. Pol cana (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarapé do Tietê (SP), safras 2006 e 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

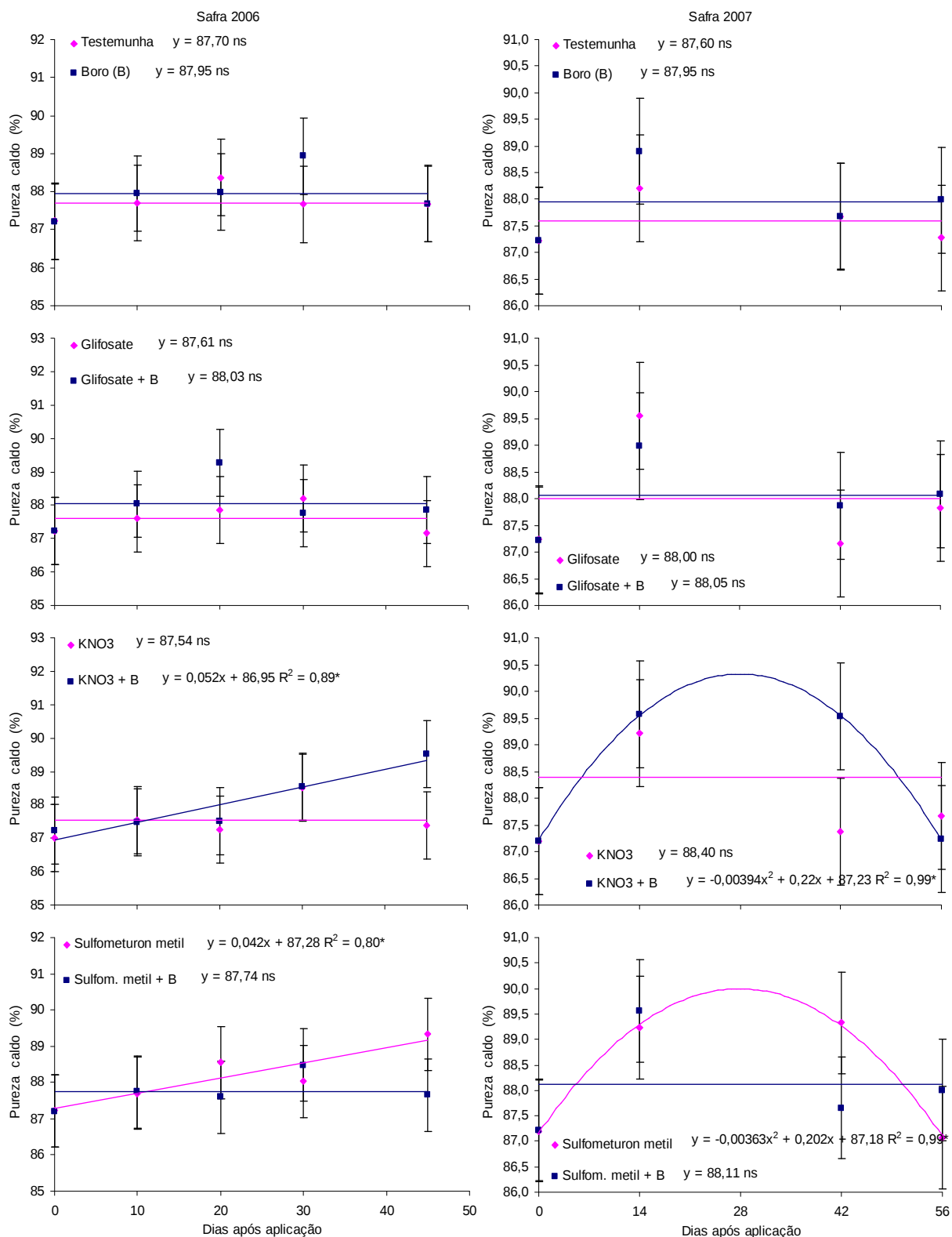


Figura 40. Pureza do caldo (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarapé do Tietê (SP), safras 2006 e 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

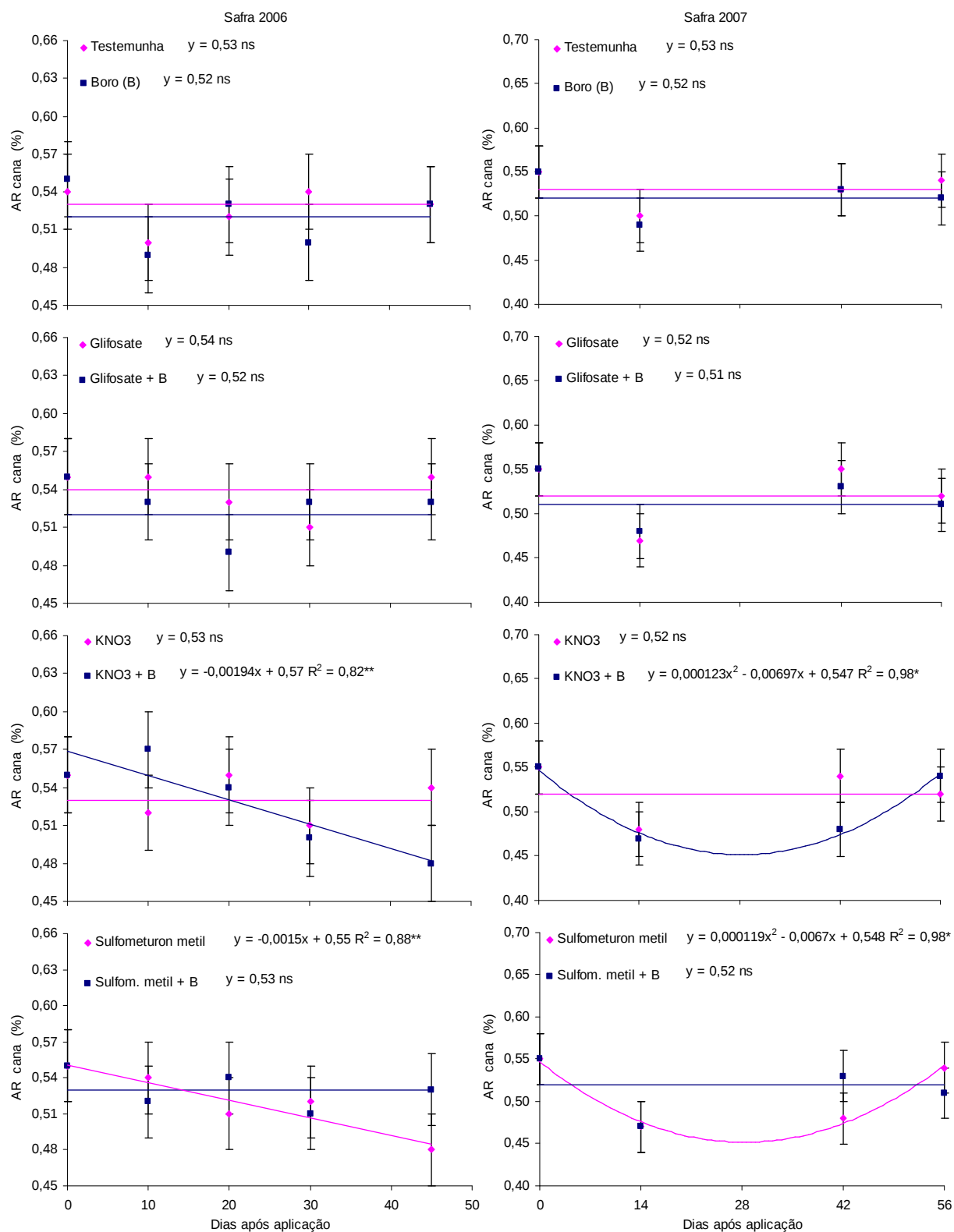


Figura 41. Açúcares redutores cana (AR cana, %) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarapé do Tietê (SP), safras 2006 e 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

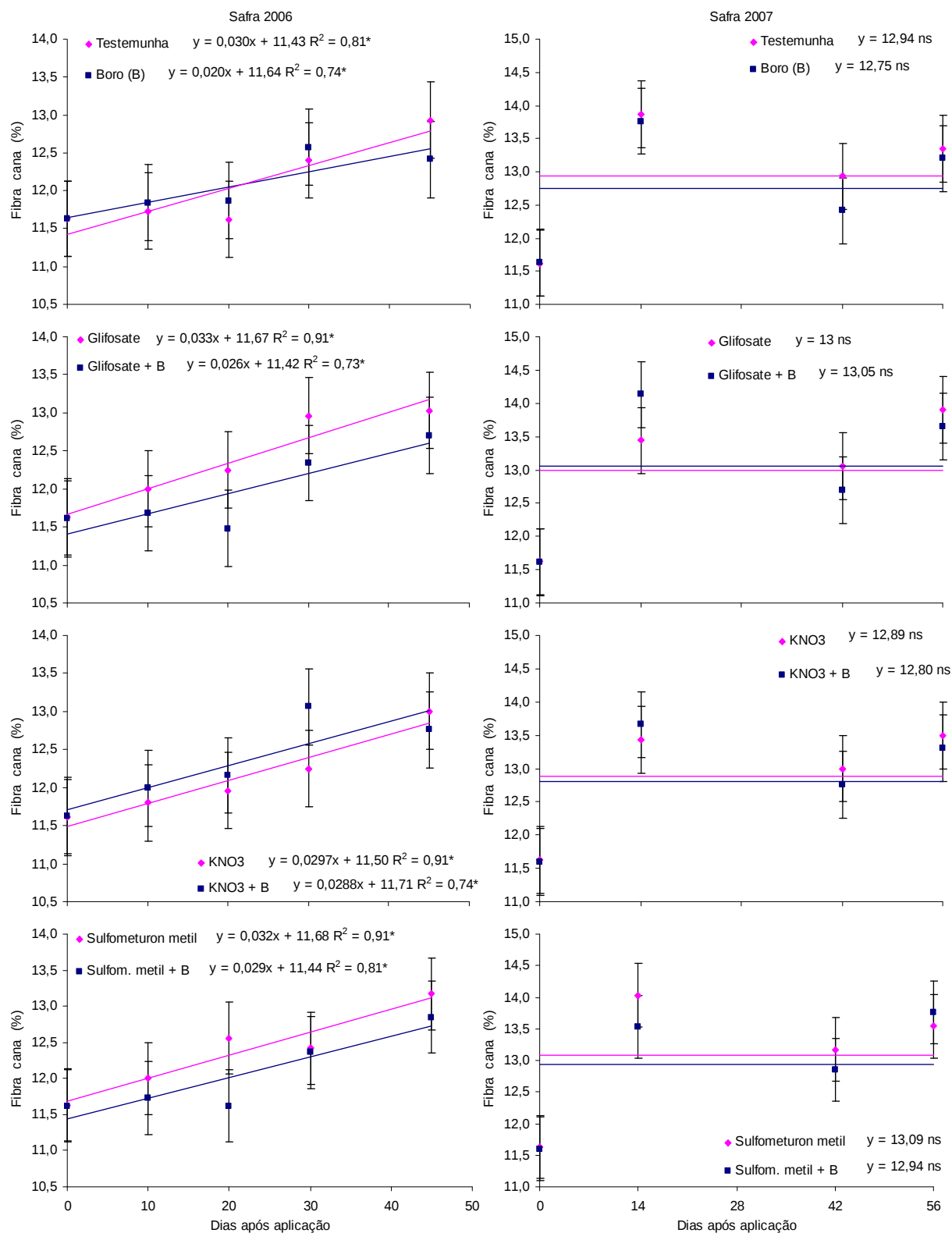


Figura 42. Fibra cana (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarçu do Tietê (SP), safras 2006 e 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

6.2.1.5 Curvas de maturação da cana-de-açúcar

Na Figura 43 encontram-se as curvas de maturação da variedade de cana-de-açúcar SP80-3280, resultantes do desdobramento da interação entre as épocas (DAA) x tratamentos (maturação natural, boro e maturadores), sendo os dados ajustados à diferentes funções matemáticas conforme o tratamento empregado.

Na safra 2006 os tratamentos testemunha (maturação natural), boro, Glifosate, Glifosate + B, KNO_3 , Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + B induziram aumento no teor de sacarose nos colmos de forma quadrática, determinando-se o ponto de máximo acúmulo de sacarose aos 19 DAA (15,86 %), 20 DAA (15,86 %), 25 DAA (15,66 %), 21 DAA (16,33 %), 23 DAA (15,57 %), 29 DAA (15,54 %) e 21 DAA (15,77 %), respectivamente, com posterior declínio (Figura 43). Por outro lado, na safra 2007 os tratamentos testemunha (maturação natural), boro, Glifosate + B, KNO_3 + B, Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + B elevaram o teor de sacarose nos colmos até os 15 DAA (16,76 %), 21 DAA (17,12), 16 DAA (16,85 %), 23 DAA (18,30 %), 25 DAA (16,99 %) e 19 DAA (17,01 %), respectivamente (Figura 43).

Na região Sudeste do Brasil, o processo de maturação da cana-de-açúcar ocorre naturalmente no início do mês de maio, atingindo seu clímax no mês de agosto/setembro. As condições climáticas, com a queda gradativa da temperatura e a diminuição das precipitações pluviais, até seca total no meio do ano, são as determinantes desse processo. A fotossíntese continua ocorrendo normalmente, enquanto houver folhas verdes, com a produção de açúcar que vai se acumulando nos espaços disponíveis nos colmos. Ocorre então, mesmo com a paralização do crescimento vegetativo, a elevação de matéria seca acumulada, formada basicamente pela sacarose (DEUBER, 1988; ANDRADE, 2006).

Dentro do complexo sistema de produção da indústria açucareira, a maturação da cana-de-açúcar é um dos aspectos dos mais importantes, pois é dele que depende o fornecimento de um fluxo contínuo de matéria-prima para o funcionamento constante da usina durante o período de colheita (ALMEIDA et al., 2003).

Pela interpretação conjunta das Figuras 35, 39 e 34 (safra 2007/2008), é possível constatar, de forma geral, o efeito benéfico do micronutriente associado aos diferentes compostos químicos em induzir significativa melhoria na qualidade tecnológica da matéria-

prima referente à pol cana (curva de maturação), isto é, promoção do armazenamento da sacarose e/ou manutenção dos elevados teores por determinado período de tempo, correlacionando tal efeito ao incremento do teor de sacarose nas diferentes porções dos colmos, principalmente no 1/3 superior, com marcante influência das condições climáticas (Figura 1), do mecanismo de ação de cada agente e dos níveis enzimáticos das invertases (Figura 32 e 33).

Resultados de pesquisas revelam que a aplicação de Glifosato e Sulfometuron metil tem induzido o aumento significativo do conteúdo de sacarose em todas as seções do colmo, principalmente na porção apical, contribuindo para o incremento da produção de cana e açúcar através da realização do desponte mais alto (ROMERO et al., 1996; ROMERO et al., 1998a; ROMERO et al., 2000; FERNANDES et al., 2002; ROMERO et al., 2003). Segundo ROMERO et al. (1998) e ROMERO et al. (2000) espera-se que variedades de cana-de-açúcar de maturação precoce apresentem incremento significativo na pol cana à aplicação de Glifosato, contudo quando sua aplicação envolve variedades de maturação média a tardia freqüentemente o incremento de sacarose é variável.

O boro tem comprovado efeito no metabolismo de carboidratos e fenóis, transporte de açúcares pela membrana, síntese de ácidos nucléicos e fitohormônios, síntese, integridade e lignificação da parede celular, germinação de grãos de pólen e crescimento do tubo polínico, sendo essencial para a atividade meristemática da planta (MARSCHNER, 1995).

Há evidências crescentes de que o micronutriente desempenha papel na função da membrana plasmática. Em tecidos deficientes em B a atividade da ATPase ligada à membrana plasmática e as taxas de absorção de íons são diminuídas. As membranas tornam-se permeáveis, mas podem ser rapidamente restauradas pelo suprimento do elemento. Este efeito da deficiência de B sobre a diminuição da função da membrana plasmática pode estar ligado a mudanças no metabolismo dos fenóis na parede celular associadas com a deficiência. Sob condições de deficiência de B, a via da pentose fosfato e não a da glicólise torna-se o meio predominante de degradação dos carboidratos, levando à formação de compostos fenólicos (e triptofano) pela via do ácido chiquímico. O conseqüente acúmulo de fenóis e o aumento da atividade da polifenoloxidase levam a compostos intermediários altamente reativos, tais como as quinonas. Estes compostos, bem como os fenóis fotoativados, são altamente efetivos na

produção de radicais superóxido, os quais são potencialmente capazes de danificar as membranas em decorrência da peroxidação de lipídeos (SHELP, 1993; KIRKBY & RÖMHELD, 2007).

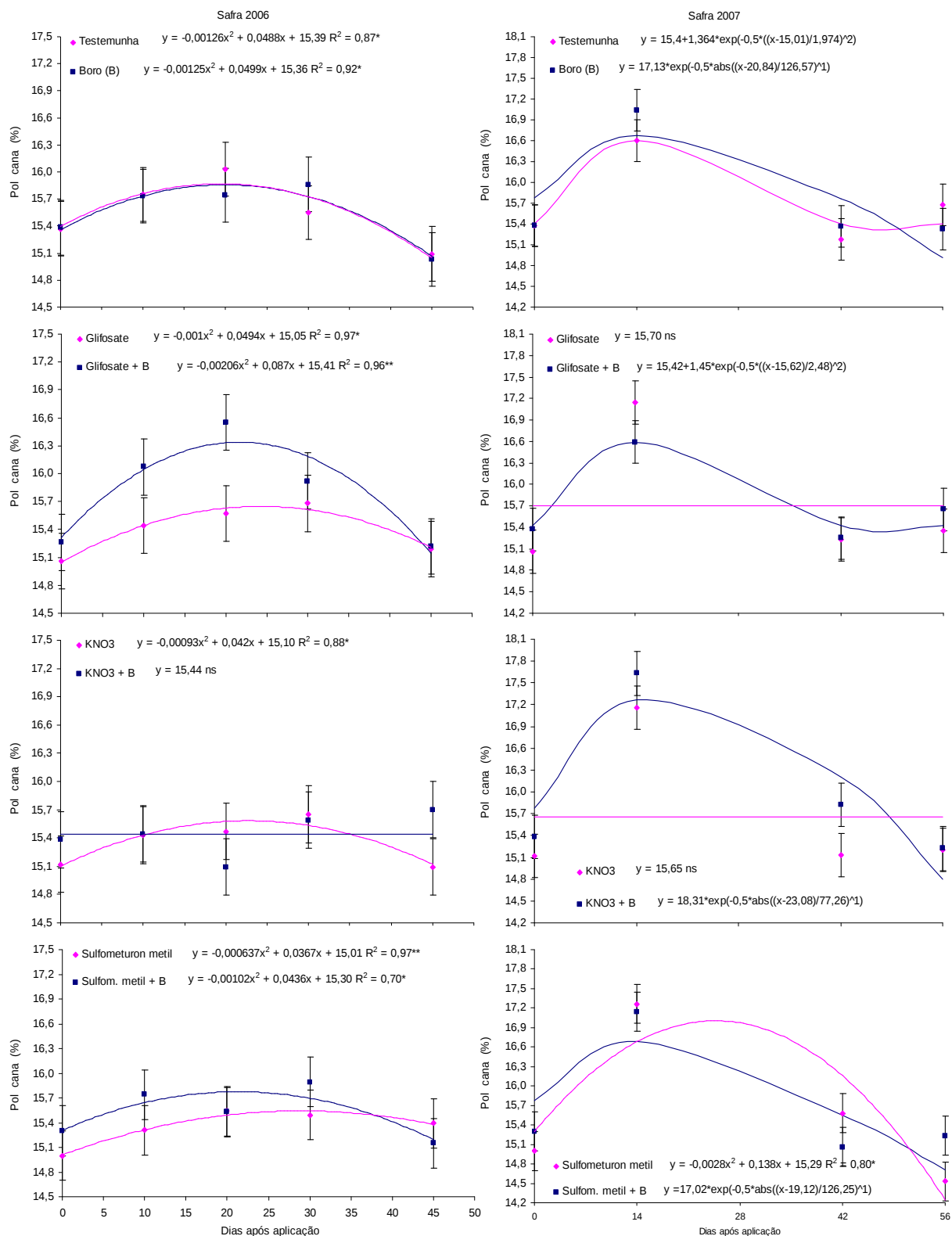


Figura 43. Curvas de maturação da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarapé do Tietê (SP), safras 2006 e 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

6.2.1.6 Amido no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar

Na literatura há evidências negativas do amido presente no caldo de cana-de-açúcar no processo de cristalização e recuperação do açúcar durante sua fabricação (ANYANGWA et al., 1993; ONNA & HASHIMOTO, 1993). Segundo TAIZ & ZEIGER (2004) e CASTRO (2002) o amido está intimamente relacionado aos tecidos imaturos, em processo de alongamento e expansão celular.

Na Figura 44 encontram-se os teores de amido determinados na porção apical dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280, resultantes do desdobramento da interação entre as épocas (DAA) x tratamentos (maturação natural, boro e maturadores), verificando-se que a presença em quantidade deste carboidrato foi influenciada de forma diferenciada pelos tratamentos adotados, cujos dados foram ajustados à funções quadráticas.

Na safra 2006 os tratamentos boro e Glifosate promoveram aumento quadrático do teor de amido no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar até os 10 DAA (0,044 %) e 19 DAA (0,041 %) respectivamente, enquanto na safra subsequente tendência semelhante ocorreu para os tratamentos boro, Glifosate, Glifosate + B, KNO_3 , KNO_3 + B e Sulfometuron metil, cuja máxima quantidade calculada de amido foi quantificada aos 25 DAA (0,028 %), 29 DAA (0,039 %), 23 DAA (0,027 %), 21 DAA (0,023 %), 28 DAA (0,029 %) e 28 DAA (0,029 %), respectivamente, com posterior decréscimo nos valores (Figura 44).

Para CÉSAR & MAZZARI (1972) o teor de amido na cana de açúcar sofre influência de diversos fatores, dentre os quais, variedade, tipo de solo, estágio de desenvolvimento, adubação, sendo observado neste ensaio significativo efeito do fator estágio desenvolvimento da cultura, como pode ser constatado pelos dados de altura de plantas (Tabela 14) e pelo declínio do teor de sacarose nos colmos, fonte de energia e carbono para o processo de retomada do desenvolvimento vegetativo (Figuras 35, 39 e 43).

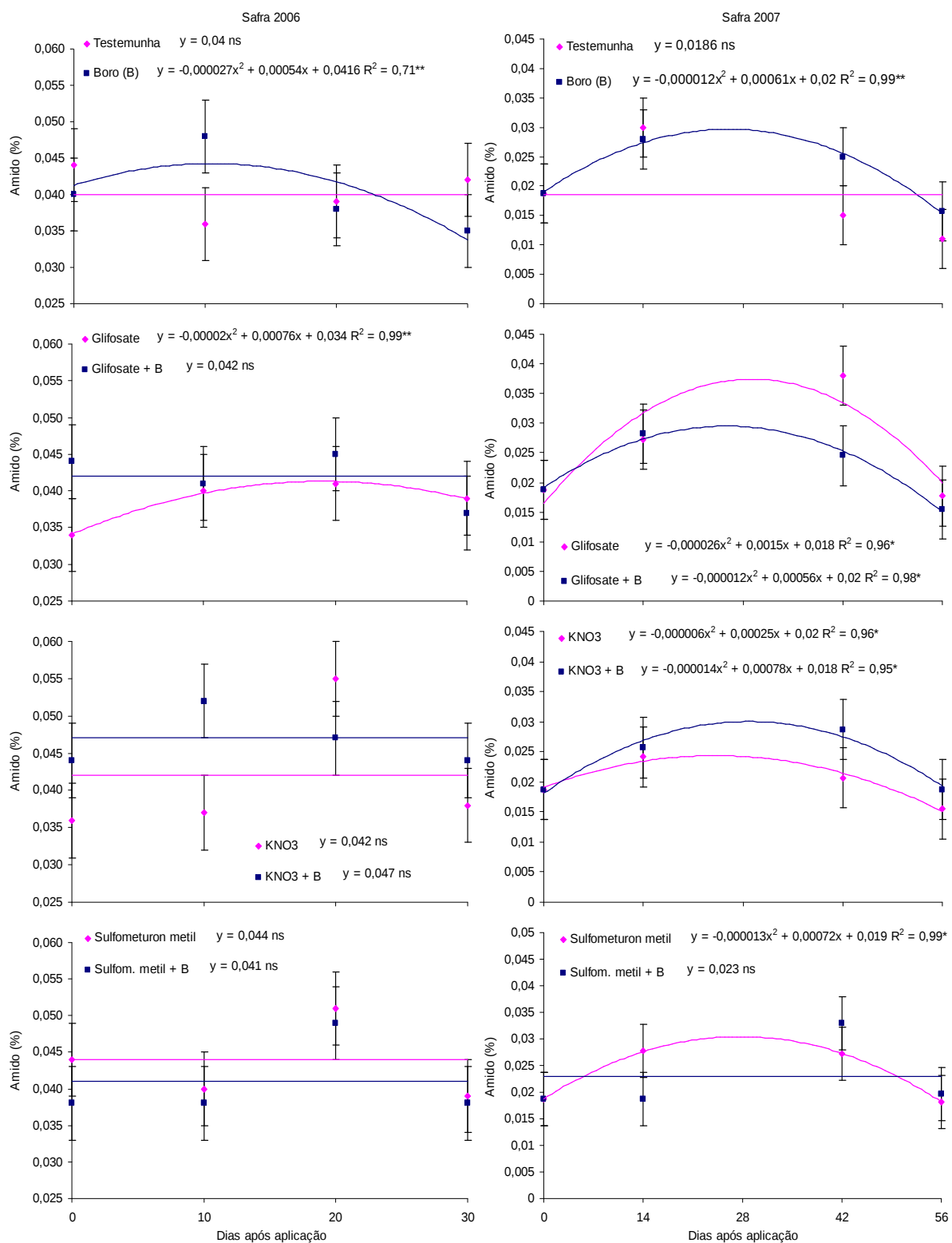


Figura 44. Amido (%) no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarau do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

6.2.1.7 Produtividade de colmos (TCH) e açúcar (TPH)

Por meio da Figura 45 referente ao desdobramento das épocas de avaliação (DAA) x tratamentos foi possível constatar efeito significativo dos tratamentos sobre a produtividade de colmos por hectare (TCH), todavia com ajustes matemáticos diferenciados conforme o tratamento empregado, não sendo observada diferença estatística entre os tratamentos testemunha (maturação natural) e a aplicação foliar de boro, assim como entre a aplicação isolada dos compostos químicos e suas associações com o micronutriente.

Na safra 2006 e 2007 os tratamentos revelaram tendência linear crescente ao longo das épocas de amostragem, com exceção dos tratamentos Sulfometuron metil + B na safra 2006, tendo sido determinado ajuste linear negativo (Figura 45).

Na Figura 46 encontram-se as dados referentes à produtividade de açúcar (TPH) resultantes do desdobramento da interação entre as épocas de amostragem (DAA) x tratamentos, sendo os dados ajustados às funções lineares e quadráticas conforme os diferentes mecanismos de ação dos agentes químicos empregados e suas associações com o micronutriente, todavia, de forma geral, sem diferenças estatísticas entre si.

Para a TPH na safra 2006 os tratamentos KNO_3 + B e Sulfometuron metil + B apresentaram resposta expressa por modelo linear crescente com o transcorrer das épocas de amostragem, enquanto para os tratamentos testemunha (maturação natural), boro, Glifosate, Glifosate + B, KNO_3 e Sulfometuron metil houve ajuste a modelo quadrático crescente até os 36 DAA (13,15 ton açúcar ha^{-1}), 26 DAA (12,52 ton açúcar ha^{-1}), 26 DAA (12,05 ton açúcar ha^{-1}), 27 DAA (12,99 ton açúcar ha^{-1}), 31 DAA (12,70 ton açúcar ha^{-1}) e 15 DAA (11,71 ton açúcar ha^{-1}), respectivamente (Figura 46). Por outro lado, na safra subsequente este comportamento foi observado somente para os tratamentos KNO_3 + B e Sulfometuron metil + B, cujo máximo valor calculado de TPH foi obtido aos 33 DAA (11,10 ton açúcar ha^{-1}) e 29 DAA (10,88 ton açúcar ha^{-1}), respectivamente (Figura 46).

As Figuras 43 e 45 permitem afirmar que os parâmetros pol cana (curva de maturação) e TCH (tonelada de cana ha^{-1}) têm influência significativa sobre a quantificação da TPH (tonelada de açúcar (pol) ha^{-1}), ressaltando que tais efeitos são induzidos pela presença dos diferentes agentes indutores ou promotores da maturação, na presença ou na ausência de boro, associados às condições climáticas (Figura 1). De forma geral,

principalmente na safra 2006, é evidente o incremento dos valores de TPH principalmente pela combinação dos compostos químicos com o micronutriente, sendo atribuído tal resultado aos valores de TCH (Figura 45) e à pol cana (Figura 43).

Segundo SEGATO et al. (2006), diversos fatores estão envolvidos na produção canavieira, dentre eles o conhecimento da planta de cana-de-açúcar, isto é, suas características varietais e seus atributos ecofisiológicos relacionados com a produção agrícola (expressa em toneladas de colmos por hectare – TCH) e acumulação de açúcar (medida em sacarose aparente – POL cana ou, açúcar teórico recuperável – ATR) – e o vínculo adequado da logística de colheita aos fatores agrônômicos. A influência dos componentes primários da produção (TCH, Pol cana ou ATR) no rendimento agroindustrial das lavouras é indiscutível, portanto é fundamental utilizar cada componente em seu momento mais propício.

Para LEITE et al. (2008) e LEITE et al. (2009) a eficiência agrônômica de maturadores com distintos mecanismos de ação foi influenciada pela época de aplicação, pela condição climática e pela característica genética da variedade, ressaltando que a aplicação dos maturadores em 10/05/2004 permitiu explorar, de forma significativa, o potencial genético da variedade quanto ao acúmulo de sacarose nos colmos, implicando em melhoria na qualidade tecnológica da matéria-prima, sendo determinado reflexo direto da produtividade de açúcar na margem de contribuição agrícola.

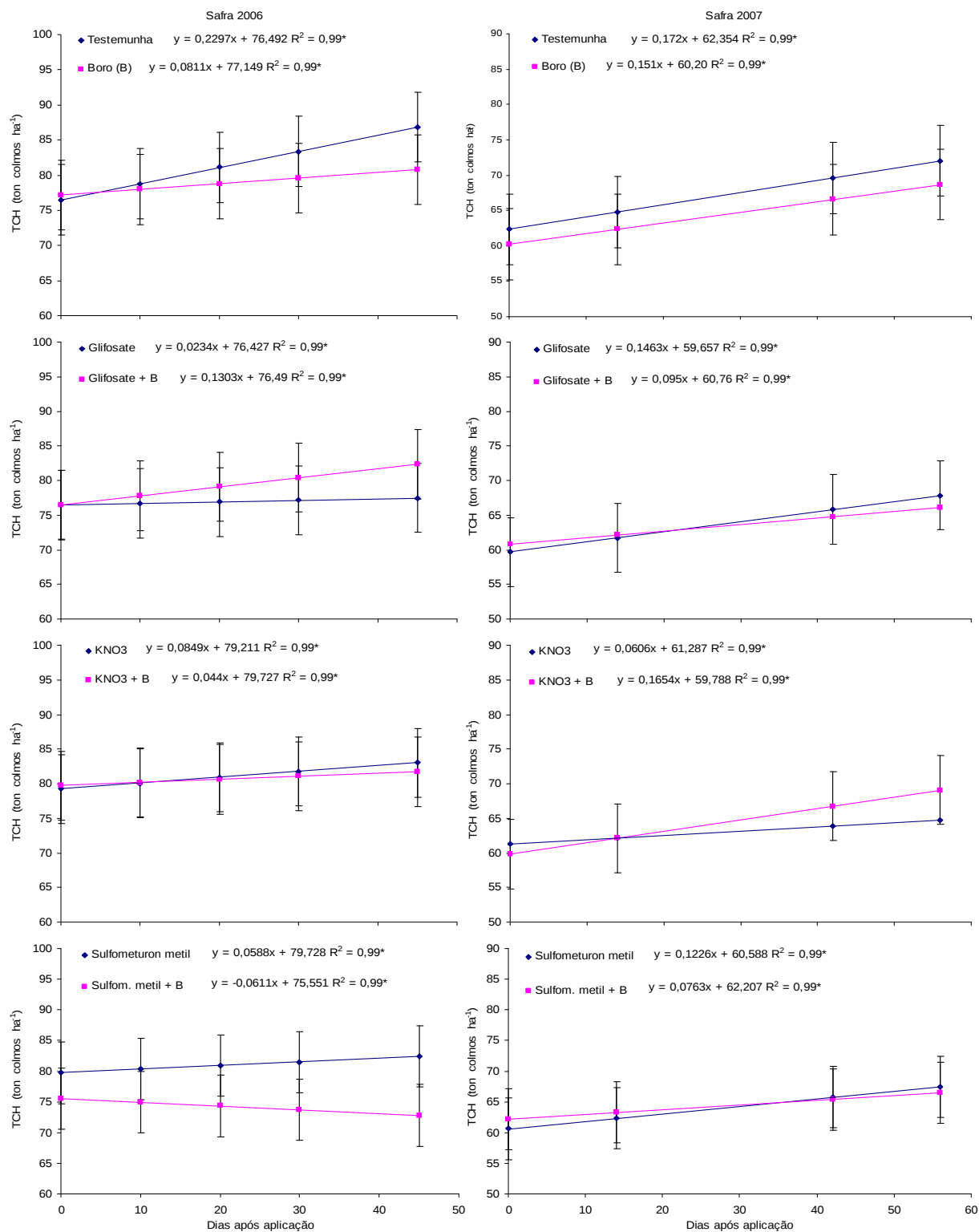


Figura 45. TCH (ton colmos ha^{-1}) da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarauçu do Tietê (SP), safra 2006/2007. As barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 % e a sobreposição destas mostra ausência de diferença entre tratamentos.

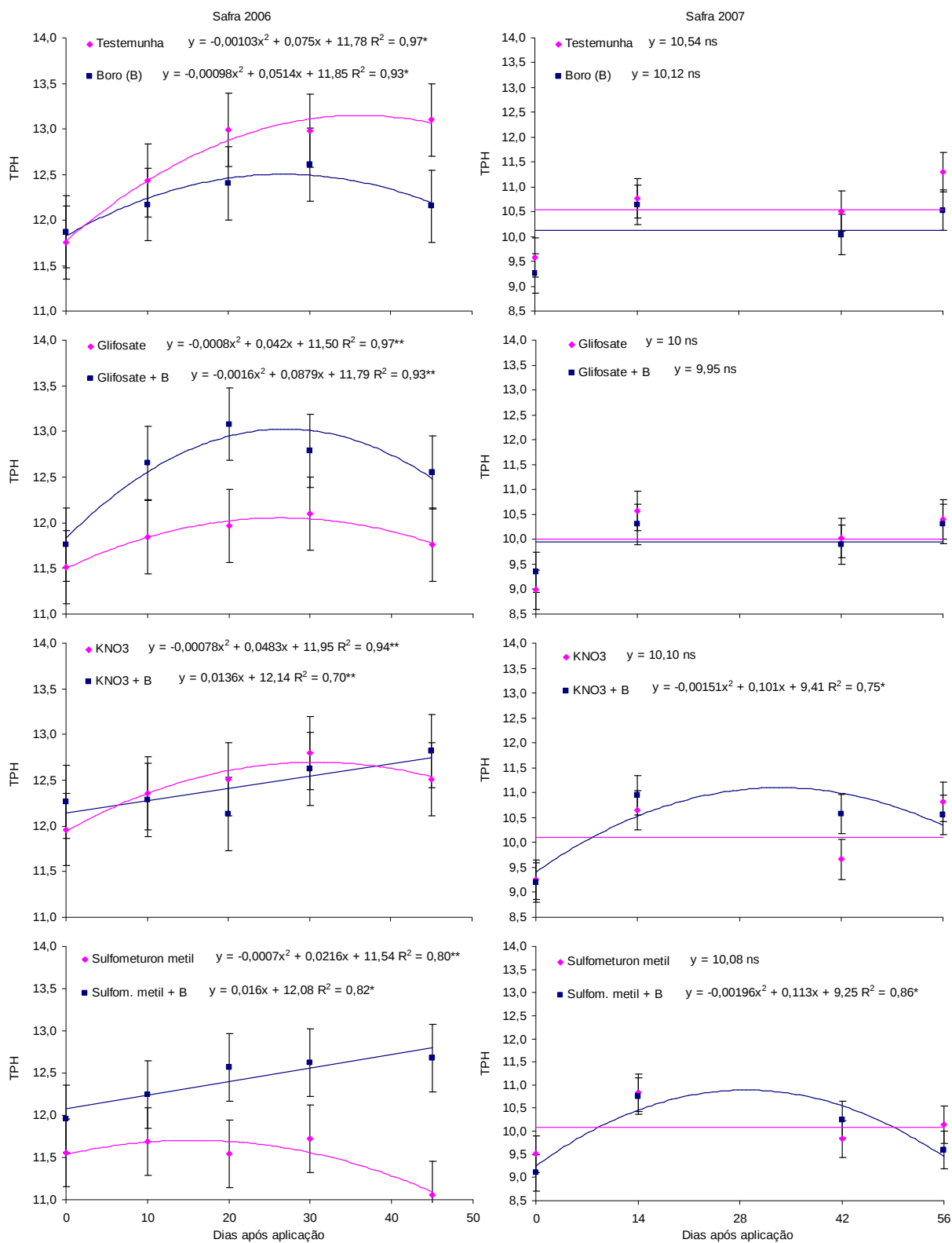


Figura 46. TPH (ton pol cana ha⁻¹) da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao boro. Igarauçu do Tietê (SP), safra 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.

6.2.1.8 Atividade das enzimas oxidativas peroxidase (POX), superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar

Nas Tabelas 15, 16 e 17 estão contidos os resultados referentes à determinação da atividade das enzimas peroxidase (POX), superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) nas folhas da cana-de-açúcar conforme os tratamentos adotados e as épocas de avaliação, não sendo constatado diferença significativa na instalação do experimento em ambas as safras, todavia com o transcorrer das épocas de amostragem é possível afirmar variação do nível enzimático com diferentes magnitudes em função dos diferentes mecanismos de ação dos tratamentos aplicados.

No primeiro ano de condução do experimento, aos 07 DAA, o uso dos agentes químicos KNO_3 e Glifosate + B induziram aumento e redução significativa na atividade da POX, respectivamente, sendo determinado para os demais tratamentos valores intermediários. Na época de amostragem seguinte (14 DAA) o maior nível de atividade da POX foi determinado nas folhas das plantas sujeitas ao uso foliar do maturador Sulfometuron metil associado ao boro, diferindo dos demais tratamentos, para os quais constatou-se o menor nível de atividade. Por fim, aos 28 DAA, os maiores níveis enzimáticos da POX foram detectados para os tratamentos KNO_3 + B e Sulfometuron metil + B, enquanto comportamento inverso ocorreu nas plantas submetidas ao processo de maturação natural (controle) (Tabela 15).

No segundo ano de condução do experimento os tratamentos controle (maturação natural) aos 07 DAA, controle (maturação natural), Glifosate + B, KNO_3 + B e Sulfometuron metil + B aos 14 DAA e controle (maturação natural), KNO_3 e Glifosate + B aos 28 DAA refletiram nos maiores níveis de atividade da enzima POX, os quais diferiram dos tratamentos Glifosate e Glifosate + B aos 07 DAA, Boro aos 14 DAA e Sulfometuron metil aos 28 DAA, respectivamente, sendo constatado para tais tratamentos a menor atividade (Tabela 15).

Com relação à enzima superóxido dismutase (SOD), na safra 2006 houve efeito significativo dos tratamentos somente nas duas últimas épocas de amostragem, ou seja, aos 14 e 28 DAA. Aos 14 DAA determinou-se o maior nível enzimático nas folhas das plantas tratadas com Boro e Glifosate + B, diferindo do tratamento Sulfometuron metil +

B, o qual induziu menor atividade da enzima SOD. Por outro lado, aos 28 DAA, o uso do KNO_3 associado ao micronutriente reduziu tal atividade, diferindo dos tratamentos controle (maturação natural), Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil, os quais revelaram comportamento oposto (Tabela 16).

Na safra 2007, com exceção das plantas submetidas ao processo de maturação natural (testemunha) e à aplicação de Sulfometuron metil associado ao micronutriente, os demais tratamentos induziram reduzida atividade da enzima SOD aos 07 DAA. Aos 14 DAA nas folhas das plantas do tratamento controle (maturação natural) determinou-se elevado nível da enzima SOD, diferindo das plantas submetidas ao uso do KNO_3 associado ao boro, sendo constatado para os demais tratamentos comportamento intermediário. Por outro lado, aos 28 DAA, o uso do KNO_3 associado ao boro elevou a atividade da SOD, diferindo do tratamento controle (maturação natural) e Glifosate + B, para os quais foram determinados os menores níveis enzimáticos (Tabela 16).

Com relação à atividade da enzima catalase (CAT), pôde ser constatado aos 14 e 28 DAA na safra 2006 padrão de comportamento semelhante ao determinado para a enzima SOD. Na safra 2007 a atividade da enzima catalase nas folhas das plantas submetidas à aplicação foliar de boro e Glifosate foi elevada aos 07 DAA, enquanto as plantas tratadas com KNO_3 revelaram a menor atividade de tal enzima. Aos 14 DAA o uso isolado do maturador Glifosate induziu significativo aumento no nível enzimático da CAT diferindo dos demais tratamentos. Por fim, aos 28 DAA, não houve diferença estatística entre os níveis enzimáticos da CAT determinados para os tratamentos (Tabela 17).

O Glifosate causa a inibição da síntese do ácido δ -aminolevulínico (AAL) (COLE, 1985). Em plantas o AAL tem papel chave na síntese de porfirinas, que são incorporadas a importantes proteínas como os citocromos, CAT e POXs. A inibição da síntese de AAL pode ser de considerável importância no modo de ação que pode explicar a diminuição do conteúdo de CAT em folhas de *Cyperus rotundus* tratadas com glifosato (ABU-IRMAILEH; JORDAN, 1978). Tais afirmações podem explicar, em parte, os resultados obtidos quanto à atividade das enzimas CAT e POX, tabelas 15 e 17, respectivamente.

A análise dos dados referentes à altura das plantas de cana-de-açúcar (Tabela 14) e a atividade da enzima peroxidase (Tabela 15) permite inferir, parcialmente, a significativa influência da POX sobre o crescimento vegetal. Segundo SIEGEL (1993) as

enzimas AIA-oxidase e peroxidases têm sido intimamente ligadas com o crescimento vegetal e são, com pequenas modificações, a mesma proteína enzimática. Para HAISSIG (1986), as peroxidases podem afetar a formação de raízes através de sua influência sobre as auxinas (rizogênese via metabolismo do AIA), ligninas e metabolismo das antocianinas. As maiores atividades das peroxidases são observadas nas paredes celulares e a parede primária representa a matriz na qual ocorre a lignificação, catalisada pela enzima. As peroxidases funcionam como catalisadores na degradação do AIA e, este, age como repressor e indutor de peroxidases específicas. HAUSMAN (1993) sugeriram que o aumento da atividade das peroxidases e decréscimos do nível de AIA podem estar associados com as primeiras divisões celulares da organização e crescimento dos primórdios radiculares, corroborando com KLERK et al. (1990), os quais sugeriram que a elevada atividade de peroxidases básicas está relacionada com a capacidade de divisão celular. Além disso, as peroxidases atuam na biossíntese do etileno, na lignificação, além da destruição das auxinas, devido ao fato dessas se apresentarem em muitas formas moleculares, participando de diferentes reações bioquímicas (DENCHEVA & KLISURKA, 1982; PASSARDI et al., 2005). Segundo CUI et al. (1999) o estresse oxidativo está envolvido na diferenciação celular e na embriogênese somática, quando a CAT e atividade das POXs diminuíram rapidamente nos primeiros dias de diferenciação celular, enquanto a atividade da SOD e a concentração de H_2O_2 aumentou.

Segundo SIEGEL (1993) sob condições de estresse, as plantas tendem a aumentar a atividade da peroxidase e às vezes, é a primeira enzima a ter atividade alterada, independentemente do substrato utilizado ou do estresse aplicado, podendo tal enzima usada como um marcador bioquímico de estresse resultante tanto de fatores bióticos como de abióticos (LIMA et al., 1999; GASPAR, 1986).

É importante ressaltar que as folhas de cana-de-açúcar (folha +3) amostradas para determinação nutricional e enzimática, possivelmente, sofreram a influência de diversos fatores bióticos e abióticos no período de condução do experimento, dentre os quais destacamos as condições climáticas (Figura 1) e a ocorrência da doença fúngica Ferrugem, cujo agente causador *Puccinia melanocephala*, aliado ao mecanismo de ação dos produtos químicos empregados, de tal forma que a variabilidade nos níveis enzimáticos mostrados nas Tabelas 15, 16 e 17 referentes às enzimas POX, SOD e CAT respectivamente, provavelmente refletem a resposta quanto a interação dos fatores supracitados.

O surto oxidativo com o aumento das EROs, segundo LAMB & DIXON (1997) e MEHDY et al. (1996), pode estar relacionado com a resposta de hipersensibilidade decorrente da interação patógeno/planta, com a conseqüente necrose das células próximas aos locais de entrada do patógeno na tentativa de isolar o mesmo num pequeno local, evitando assim a infecção sistêmica. No entanto, as EROs não estão apenas relacionadas com a morte celular programada, característica da resposta de hipersensibilidade, mas podem agir diretamente sobre o patógeno como sinalizador, juntamente com o ácido salicílico para a produção de proteínas de resistência, na ativação de genes de defesa no hospedeiro (planta), na ligação oxidativa de proteínas reforçando a parede celular e como sinalizadores na síntese de fitoalexinas. Para KWAK et al. (1996) a atividade da POX é aumentada freqüentemente em resposta a hormônios relacionados com o estresse, tais como o ácido abscísico e etileno e, da mesma forma, o Paraquat, herbicida gerador de estresse oxidativo, também induz este tipo de resposta.

Tabela 15. Atividade da enzima peroxidase (POX) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2006/2007.

Tratamentos	Peroxidase			
	μ moles de H_2O_2 consumidos g^{-1} de matéria fresca x minuto			
	Safr 2006			
	0 DAA ⁽¹⁾	07 DAA ⁽¹⁾	14 DAA ⁽¹⁾	28 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	1,48 a	2,15 cd	1,54 b	1,14 d
Boro (B)	1,49 a	3,26 ab	1,28 b	1,89 cd
Glifosate	1,41 a	1,56 de	1,36 b	2,30 bc
KNO ₃	1,44 a	3,56 a	1,10 b	2,03 c
Sulfometuron metil	1,46 a	2,65 bc	1,30 b	2,06 c
Glifosate + B	1,45 a	1,25 e	1,02 b	2,97 ab
KNO ₃ + B	1,48 a	1,86 cde	1,69 b	3,19 a
Sulfom. metil + B	1,49 a	3,23 ab	2,53 a	3,22 a
CV (%) = 20,78				
Tratamentos	Safr 2007			
	0 DAA ⁽¹⁾	07 DAA ⁽¹⁾	14 DAA ⁽¹⁾	28 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	1,79 a	3,48 a	2,98 a	3,10 a
Boro (B)	1,75 a	3,15 abc	1,98 c	2,72 ab
Glifosate	1,69 a	1,83 d	2,65 ab	2,00 bc
KNO ₃	1,71 a	3,28 ab	2,85 ab	3,11 a
Sulfometuron metil	1,78 a	2,30 cd	2,46 ab	1,67 c
Glifosate + B	1,79 a	2,08 d	3,08 a	3,23 a
KNO ₃ + B	1,77 a	3,26 ab	3,21 a	2,89 ab
Sulfom. metil + B	1,76 a	2,47 bcd	3,26 a	2,12 bc
CV (%) = 18,90				

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 10% de probabilidade.

⁽¹⁾ Dias após a aplicação.

Tabela 16. Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2006/2007.

Tratamentos	Superóxido dismutase			
	Unidades de atividade g ⁻¹ de matéria fresca x minuto			
	Safr 2006			
	0 DAA ⁽¹⁾	07 DAA ⁽¹⁾	14 DAA ⁽¹⁾	28 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	1,66 a	1,28 a	0,85 ab	0,89 a
Boro (B)	1,68 a	1,20 a	0,87 a	0,85 ab
Glifosate	1,70 a	1,22 a	0,74 ab	1,00 a
KNO ₃	1,65 a	1,09 a	0,71 ab	0,98 a
Sulfometuron metil	1,63 a	1,30 a	0,75 ab	0,89 a
Glifosate + B	1,63 a	1,20 a	0,86 a	0,62 ab
KNO ₃ + B	1,66 a	1,10 a	0,49 ab	0,47 b
Sulfom. metil + B	1,67 a	1,07 a	0,46 b	0,65 ab
CV (%) = 10,96				
Tratamentos	Safr 2007			
	0 DAA ⁽¹⁾	07 DAA ⁽¹⁾	14 DAA ⁽¹⁾	28 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	1,33 a	1,04 a	1,35 a	0,83 d
Boro (B)	1,34 a	0,87 b	0,71 cde	0,91 cd
Glifosate	1,40 a	0,92	1,28 ab	0,99 bcd
KNO ₃	1,38 a	0,99 b	0,75 cde	1,26 b
Sulfometuron metil	1,37 a	0,77 b	0,98 bcd	1,27 b
Glifosate + B	1,33 a	1,08 b	1,01 bc	0,85 d
KNO ₃ + B	1,35 a	0,85 b	0,57 e	1,58 a
Sulfom. metil + B	1,34 a	1,39 a	0,67 de	1,16 bc
CV (%) = 8,47				

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 10% de probabilidade.

⁽¹⁾ Dias após a aplicação.

Tabela 17. Atividade da enzima catalase (CAT) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2006/2007.

Tratamentos	Catalase			
	μ moles de H_2O_2 decomposto g^{-1} de matéria fresca x minuto			
	Safr 2006			
	0 DAA ⁽¹⁾	07 DAA ⁽¹⁾	14 DAA ⁽¹⁾	28 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	708,95 a	693,11 a	640,50 ab	824,76 ab
Boro (B)	706,10 a	734,47 a	757,14 a	878,66 ab
Glifosate	707,54 a	739,47 a	618,31 ab	623,88 abc
KNO ₃	707,23 a	770,60 a	531,19 ab	987,82 a
Sulfometuron metil	706,89 a	666,90 a	513,48 ab	811,58 ab
Glifosate + B	708,09 a	740,21 a	858,63 a	562,84 abc
KNO ₃ + B	708,12 a	935,23 a	437,76 ab	317,63 c
Sulfom. metil + B	707,65 a	882,90 a	300,56 b	526,76 bc
CV (%) = 29,84				
Tratamentos	Safr 2007			
	0 DAA ⁽¹⁾	07 DAA ⁽¹⁾	14 DAA ⁽¹⁾	28 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	611,56 a	505,62 bc	356,19 cd	898,18 a
Boro (B)	609,23 a	1299,66 a	181,82 d	564,96 a
Glifosate	606,45 a	1379,05 a	2842,22 a	592,49 a
KNO ₃	600,09 a	194,42 c	639,00 cd	555,09 a
Sulfometuron metil	590,67 a	464,19 bc	510,19 cd	646,47 a
Glifosate + B	608,45 a	494,40 bc	596,90 cd	316,53 a
KNO ₃ + B	610,78 a	980,54 ab	1500,97 b	807,88 a
Sulfom. metil + B	611,98 a	956,10 ab	994,48 bc	543,62 a
CV (%) = 39,52				

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 10% de probabilidade.

⁽¹⁾ Dias após a aplicação.

6.2.1.9 Rebrotas da soqueira e teores de antocianinas, carotenóides, clorofila (a+b) e compostos fenólicos totais

Na Tabela 18 estão contidos os resultados referentes à determinação da capacidade de rebrotas da soqueira da cana-de-açúcar variedade SP80-3280, sendo possível afirmar que, em ambas as safras, houve significativa influência dos agentes químicos, associados ou não ao micronutriente, sobre tal parâmetro.

Na safra 2006 quantificou-se o menor número de brotos por metro para os tratamentos Boro, Sulfometuron metil, Sulfometuron metil + B e Glifosato + B, diferindo da aplicação do agente químico KNO_3 , o qual, por sua vez, revelou o maior valor para esta variável. Por outro lado, na safra seguinte as plantas tratadas com o maturador Sulfometuron metil associado ao micronutriente apresentaram número de brotos por metro estatisticamente superior às plantas submetidas à aplicação de Glifosato, Sulfometuron metil e KNO_3 + B (Tabela 18).

LEITE (2005) estudando o efeito da aplicação de maturadores com distintos mecanismos de ação em cana-de-açúcar, concluíram que a adoção desta ferramenta agrícola em 10/05/2004 não induziu conseqüências na rebrotas da soqueira. Por outro lado, ROMERO et al. (1996), ROMERO et al. (1998a) e ROMERO et al. (2000) enfatizaram que doses de Glifosato variando entre 0,43 a 1,0 L p.c. ha^{-1} revelam efeito positivo sobre o processo de maturação, todavia podem ocasionar retardamento da brotação, além de afetar negativamente o desenvolvimento da soca posterior.

No momento da avaliação da capacidade de rebrotas da soqueira da cana-de-açúcar, aos 60 DAC, quantificou-se a presença de antocianinas, carotenóides, clorofila (a+b) e compostos fenólicos totais nas folhas, cujos resultados encontram-se na Tabela 19.

Na safra 2006 e 2007 os tratamentos afetaram o teor de antocianinas na parte aérea (folhas) da cana-de-açúcar. A aplicação de Sulfometuron metil associado ao micronutriente ocasionou elevado conteúdo de antocianinas nas folhas da rebrotas da soqueira da cana-de-açúcar na safra 2006, diferindo do uso dos agentes químicos Sulfometuron metil e Glifosato + B, os quais ocasionaram conteúdo significativamente inferior. Na safra subsequente o tratamento Glifosato + B implicou em acréscimo no teor de antocianinas nas

folhas das plantas, diferindo dos demais tratamentos, para os quais quantificou-se o menor conteúdo, porém sem diferir da aplicação do agente químico KNO_3 associado ao micronutriente (Tabela 19).

Com relação ao teor de carotenóides, os tratamentos empregados não ocasionaram efeito significativo sobre tal parâmetro no primeiro ano de condução do experimento. Por outro lado, na safra seguinte o uso dos compostos químicos Sulfometuron metil, KNO_3 e do micronutriente implicou no decréscimo de tal componente na parte aérea (folhas) da rebrota da soqueira da cana-de-açúcar, enquanto os tratamentos Glifosate e KNO_3 , ambos associados ao boro, induziram teores significativamente superiores (Tabela 19).

Na safra 2007 os tratamentos não afetaram de forma significativa o teor de colorofila (a+b) e o conteúdo de compostos fenólicos totais nas folhas da rebrota da soqueira da cana-de-açúcar (Tabela 21). Por outro lado, a aplicação isolada do maturador Sulfometuron metil propiciou elevado teor de clorofila (a+b) na safra 2006, diferindo do uso do Glifosate associado ao boro, para o qual determinou-se o menor valor, enquanto para os demais tratamentos foram observados valores intermediários (Tabela 19). Nessa safra, quanto ao conteúdo de compostos fenólicos totais, foram obtidos valores estatisticamente superiores através da aplicação foliar do micronutriente e do agente químico KNO_3 e KNO_3 associado ao boro, em relação às plantas do tratamento controle (maturação natural) (Tabela 19).

Os dados contidos na Tabela 19 revelam o provável efeito residual dos produtos químicos e os diferentes mecanismos de ação sobre alguns componentes fisiológicos da rebrota da soqueira da cana-de-açúcar. Segundo PANTASTICO (1975) e HULME (1971), os fenômenos relacionados com o amadurecimento incluem degradação das clorofilas a e b, degradação de pigmentos subjacentes e síntese de novos pigmentos, como os carotenóides, com elevação no teor de sólidos solúveis. Produtos que desencadeiam, direta ou indiretamente, a síntese endógena de etileno, por consequência são capazes de acelerar a degradação desta clorofila e a síntese de carotenóides (CASAS et al., 1989).

O Glifosate refere-se ao agente químico inibidor da enzima enol-piruvil-chiquimato-fosfato-sintase [EPSPs, (E.C. 2.5.1.19)], a qual está presente na rota de síntese dos aminoácidos de cadeia aromática (fenilalanina, tirosina e triptofano). A inibição de sua atividade bloqueia a síntese destes aminoácidos nos vegetais, ocasionando a inibição da síntese protéica e outros compostos aromáticos e produtos secundários importantes como

vitaminas, hormônios, clorofila, fitoalexinas, alcalóides, lignina e antocianinas, acumulando um composto intermediário chamado chiquimato. O efeito estressante causado pela fitotoxidez estimula a produção de etileno, hormônio vegetal capaz de inibir o metabolismo de fosfolipídeos, aumentar a permeabilidade da membrana, causar perda de clorofila, inibir a divisão e a expansão celular e reduzir a síntese de DNA. Por fim, as possíveis associações destes eventos metabólicos culminam na paralisação do desenvolvimento vegetal (RODRIGUES, 1995; RIZZARD et al., 2004; RODRIGUES & LEITE, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2004; LEITE, 2005; NETTO, 2006).

Diversos trabalhos relatam que a clorofila é altamente sensível ao agente químico Glifosate e que a natureza aclorofílica do crescimento subsequente é uma notável característica das plantas que são expostas à dose subletal do herbicida, corroborando com as avaliações visuais dos campos experimentais e com os dados obtidos (Tabela 19) (WONG; 2000; SINGH, 2004). Também LEE (1981) concluiu que a diminuição da clorofila em folhas de *Cyperus rotundus* foi precedida pelo declínio de carotenóides e ocorreu somente sob iluminação.

Todavia, ressalta-se que associado aos tratamentos empregados, possivelmente outros fatores são capazes de afetar a produção de clorofila, antocianinas, e carotenóides (Tabela 19), dentre os quais a disponibilidade luminosa e de nitrogênio (MAGALHÃES, 1985; MENGEL & KIRBY, 1987; ENGEL & POGGIANI, 1991; CARELLI et al., 2006; GODOY et al., 2008).

Os compostos fenólicos são metabólicos secundários produzidos pelas plantas sem apresentarem função direta no seu crescimento e desenvolvimento, porém são fundamentais para o metabolismo vegetal (STRACK, 1997), cuja principal função está associada com a defesa vegetal contra fatores externos, bióticos e abióticos, pois se trata de um mecanismo de resistência bioquímico pré-formado pela planta (PASCHOLATI & LEITE, 1994), destacando-se dentro das classes mais importantes de compostos fenólicos a lignina, os flavonóides e os taninos (TAIZ & ZEIGER, 2004). Portanto, os resultados referentes ao teor de fenóis totais (Tabela 6) podem ser explicados pelos fatores supracitados, ou seja, agentes químicos e respectivos mecanismos de ação, estado nutricional da planta e condição climática.

Tabela 18. Rebrotos da soqueira da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito de maturadores, associados ou não ao boro. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2006/2007.

Tratamentos	Safra 2006	Safra 2007
	n° de brotos m ⁻¹	
	60 DAC ⁽¹⁾	
Testemunha	20,0 ab	21,0 ab
Boro (B)	19,0 b	21,0 ab
Glifosate	20,0 ab	19,0 b
KNO ₃	23,0 a	21,0 ab
Sulfometuron metil	19,0 b	20,0 b
Glifosate + B	17,0 b	21,0 ab
KNO ₃ + B	20,0 ab	20,0 b
Sulfom. metil + B	18,0 b	23,0 a
CV (%)	6,75	4,48

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 10 % de probabilidade.

⁽¹⁾ Dias após a colheita.

Tabela 19. Antocianinas, carotenóides, clorofila (a+b) e fenóis totais nas folhas da soqueira (rebrotada) da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito de maturadores, associados ou não ao boro, aos 60 dias após a colheita (DAC). Igarapu do Tietê, SP, safras 2006/2007.

	Antocianinas	Carotenóides	Clorofila (a + b)	Fenóis totais
	(µg g ⁻¹ matéria fresca)		(µg ácido gálico mg ⁻¹ matéria seca)	
Tratamentos	Safr 2006 – 60 DAC			
Testemunha	0,54 ab	0,17 a	0,96 ab	114,40 b
Boro (B)	0,58 ab	0,16 a	0,97 ab	135,88 a
Glifosate	0,35 ab	0,16 a	0,86 abc	125,70 ab
KNO ₃	0,31 ab	0,15 a	0,92 ab	135,28 a
Sulfom. metil	0,20 b	0,14 a	0,98 a	129,90 ab
Glifosate + B	0,21 b	0,16 a	0,67 c	120,85 ab
KNO ₃ + B	0,64 ab	0,19 a	0,75 bc	134,50 a
Sulfom. metil + B	0,77 a	0,19 a	0,91 ab	127,40 ab
CV (%)	21,04	19,76	12,49	7,02
Tratamentos	Safr 2007 – 60 DAC			
Testemunha	0,10 b	0,13 ab	0,57 a	116,25 a
Boro (B)	0,10 b	0,10 b	0,53 a	126,83 a
Glifosate	0,12 b	0,12 ab	0,79 a	120,35 a
KNO ₃	0,10 b	0,10 b	0,48 a	127,78 a
Sulfom. metil	0,19 b	0,09 b	0,44 a	109,38 a
Glifosate + B	0,33 a	0,16 a	0,66 a	126,00 a
KNO ₃ + B	0,23 ab	0,15 a	0,79 a	123,75 a
Sulfom. metil + B	0,11 b	0,12 ab	0,68 a	128,90 a
CV (%)	16,17	11,56	19,43	7,97

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10 % de probabilidade.

6.2.2 Maturadores associados a silício aplicados via foliar em cana-de-açúcar

6.2.2.1 Atividade das enzimas invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no caldo do terço superior do colmo

Na interação entre maturadores (aplicados de forma isolada ou em associação com o silício) x épocas de amostragem (dias após aplicação) nas safras 2006 e 2007 constata-se que, de modo geral, os níveis da SAI foram superiores aos níveis da NI e para cada época de amostragem a aplicação isolada dos maturadores diferiu da associação com o elemento, sendo que, independente da safra os tratamentos revelaram comportamentos distintos em promover a atividade dessas enzimas (Figura 47 e 48).

Na safra 2006, com relação à aplicação do agente químico KNO_3 associado ao silício e ao tratamento controle (maturação natural) houve redução significativa na atividade da SAI com resposta quadrática, cujos pontos de mínimo calculados ocorreram aos 17 DAA (40,56 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) e 8 DAA (46,68 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), respectivamente. Quanto às plantas submetidas ao emprego de silício foliar foi observado incremento até os 8 DAA (51,31 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) seguido de decréscimo até os 31 DAA (41,52 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), seguido da elevação dos níveis enzimáticos novamente. Para o uso do agente químico isolado do KNO_3 a atividade da SAI foi crescente até os 10 DAA (70,31 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) seguida de redução até os 18 DAA e estabilização dos níveis enzimáticos em 50,83 μg de glicose g^{-1} matéria fresca, enquanto com relação ao uso isolado do Glifosate e Sulfometuron metil + Si houve ajuste linear positivo com o transcorrer das épocas de avaliação (Figura 47).

Com relação à enzima NI, na safra 2006, a aplicação dos compostos químicos Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil associados ao silício determinou-se decréscimo da atividade até os 14 DAA (33,17 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 6 DAA (30,69 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) e 11 DAA (25,47 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), respectivamente, com posterior aumento. Por outro lado, a aplicação isolada dos agentes químicos supracitados foram ajustados a modelo linear crescente, sendo determinado nas

plantas submetidas ao processo de maturação natural (testemunha) e à aplicação de silício foliar resposta quadrática positiva, não sendo possível determinar o ponto de máxima atividade da NI para tais tratamentos dentro do período de amostragem (Figura 47).

Na safra 2007 os tratamentos testemunha (maturação natural), Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil elevaram de forma significativa os níveis enzimáticos da SAI seguido de decréscimo, sendo ajustados à modelos quadráticos, cujos pontos calculados de máxima atividade ocorreram aos 26 DAA (63,56 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 29 DAA (69,82 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 25 DAA (62,59 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) e 25 DAA (66,49 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), respectivamente, sendo determinado comportamento inverso para o tratamento Sulfometuron metil + Si, com reduzido nível enzimático calculado aos 4 DAA (51,39 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), seguido de seu aumento (Figura 48).

Quanto à atividade da NI na safra 2007, os tratamentos silício, testemunha (maturação natural), Glifosate, Glifosate + Si, KNO_3 + Si e Sulfometuron metil + Si revelaram comportamento quadrático, cujo ponto calculado de máxima atividade foi determinado aos 25 DAA (30,63 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 32 DAA (44,79 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 33 DAA (34,69 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 24 DAA (40,25 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), 26 DAA (28,94 μg de glicose g^{-1} matéria fresca) e 27 DAA (48,02 μg de glicose g^{-1} matéria fresca), respectivamente, seguido de declínio (Figura 48). Os tratamentos KNO_3 e Sulfometuron metil foram ajustados a modelos lineares positivos (Figura 48).

A atividade das invertases (Figuras 47 e 48) pode ser explicada pelos diferentes mecanismos de ação dos produtos químicos empregados, associados ou não ao silício, tendo em vista o comportamento enzimático da SAI e da NI, embora com variações no tempo (DAA) e na amplitude (Figuras 47 e 48), com menor influência das condições climáticas sobre o comportamento enzimático, em virtude do clima (Figura 1) estimular a retomada do crescimento vegetal com a conseqüente requisição de sacarose como fonte de carbono e energia para tal processo e marcante efeito do silício.

Pela Figura 1 a condição climática referente ao período (aplicação tardia dos tratamentos) não esclarecem totalmente o comportamento enzimático, tendo em vista a crescente disponibilidade hídrica e térmica entre os meses de setembro a dezembro nas safras

2006 e 2007, desfavorável à continuidade e/ou manutenção do processo de maturação natural da cana-de-açúcar. Ressalta-se que na safra 2006 o período após a aplicação dos tratamentos caracterizou-se por intensa precipitação pluvial, enquanto na safra 2007 o período foi marcado pela menor disponibilidade hídrica (Figura 1).

A invertase ácida solúvel tem sido relacionada à tecidos imaturos, sendo sua atividade alta ou baixa, respectivamente, em condições favoráveis ou desfavoráveis ao crescimento vegetativo, como por exemplo, estresse hídrico, fotoperíodo curto, temperaturas baixas e aplicação de maturadores, com correlação estreita e inversa com o conteúdo de sacarose e açúcares totais nos colmos (GAYLER & GLASZIOU, 1972; LEGENDRE, 1975; HAWKER, 1985; SU et al., 1992; VIEIRA et al., 1996b; ZHU et al., 1997; LINGLE, 1999; TERAUCHI et al., 2000; LEITE 2005). Diversos estudos evidenciam a atuação da SAI no processo de osmorregulação, haja visto que a expansão celular dos tecidos imaturos requer hexoses como fonte de energia e carbono e depende da direção da força de alongamento celular, consequência da manutenção da pressão osmótica celular e do aumento da extensibilidade da parede celular (GAYLER & GLASZIOU, 1972; GIBEAUT et al., 1990).

Por outro lado, a invertase neutra tem sido relacionada à maturidade dos tecidos, onde os processos de crescimento estão praticamente finalizados, havendo declínio da concentração da SAI com consequente predomínio da NI, sendo capaz de governar o acúmulo ativo de sacarose nos vacúolos das células parenquimáticas dos colmos (HATCH & GLASZIOU, 1963; RICARDO & SOVIA, 1974; VIEIRA et al., 1996a; LINGLE, 1999).

Para LEITE et al. (2009) a eficiência agronômica dos maturadores com diferentes mecanismos de ação na variedade SP80-3280 (maturação média-tardia) foi afetada pelo clima e pela época de aplicação (10/05/2004 ou 04/08/2005), isto é, níveis superiores da SAI em relação à NI na safra 2004 e comportamento inverso na safra 2005. Segundo os autores, o ambiente favorável ao desenvolvimento vegetativo da planta em 2004 acarretou na necessidade de açúcares (glicose e frutose) para a manutenção do metabolismo induzindo a elevada atividade da SAI, enquanto em 2005 o ambiente propiciou condições adequadas ao processo de maturação natural aliado ao controle genético de tal processo, característica genética intrínseca à variedade, aliado à aplicação tardia dos tratamentos (04/08/2005) contribuiu para a elevada atividade da NI.

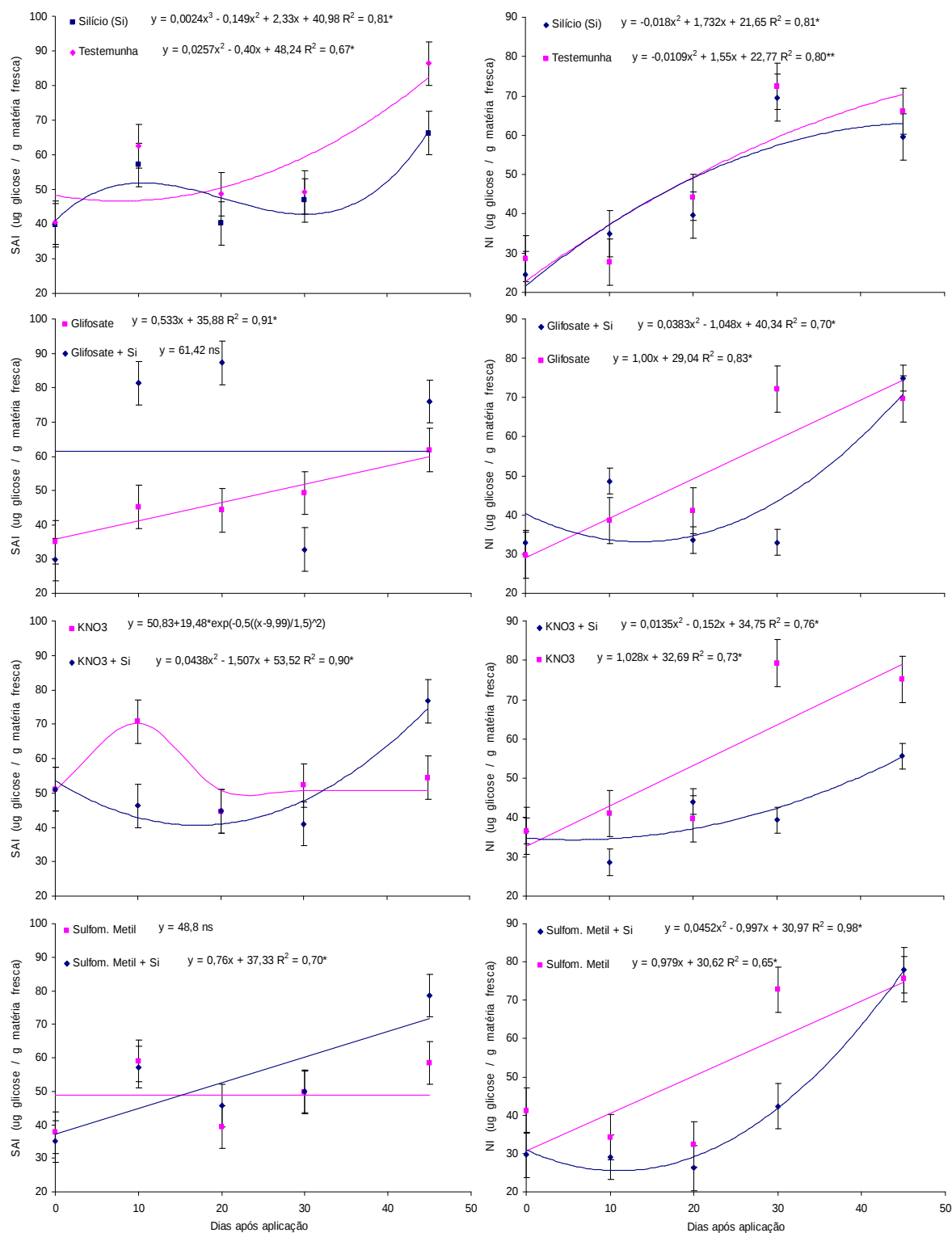


Figura 47. Atividade das invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarau do Tietê (SP), safra 2006. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

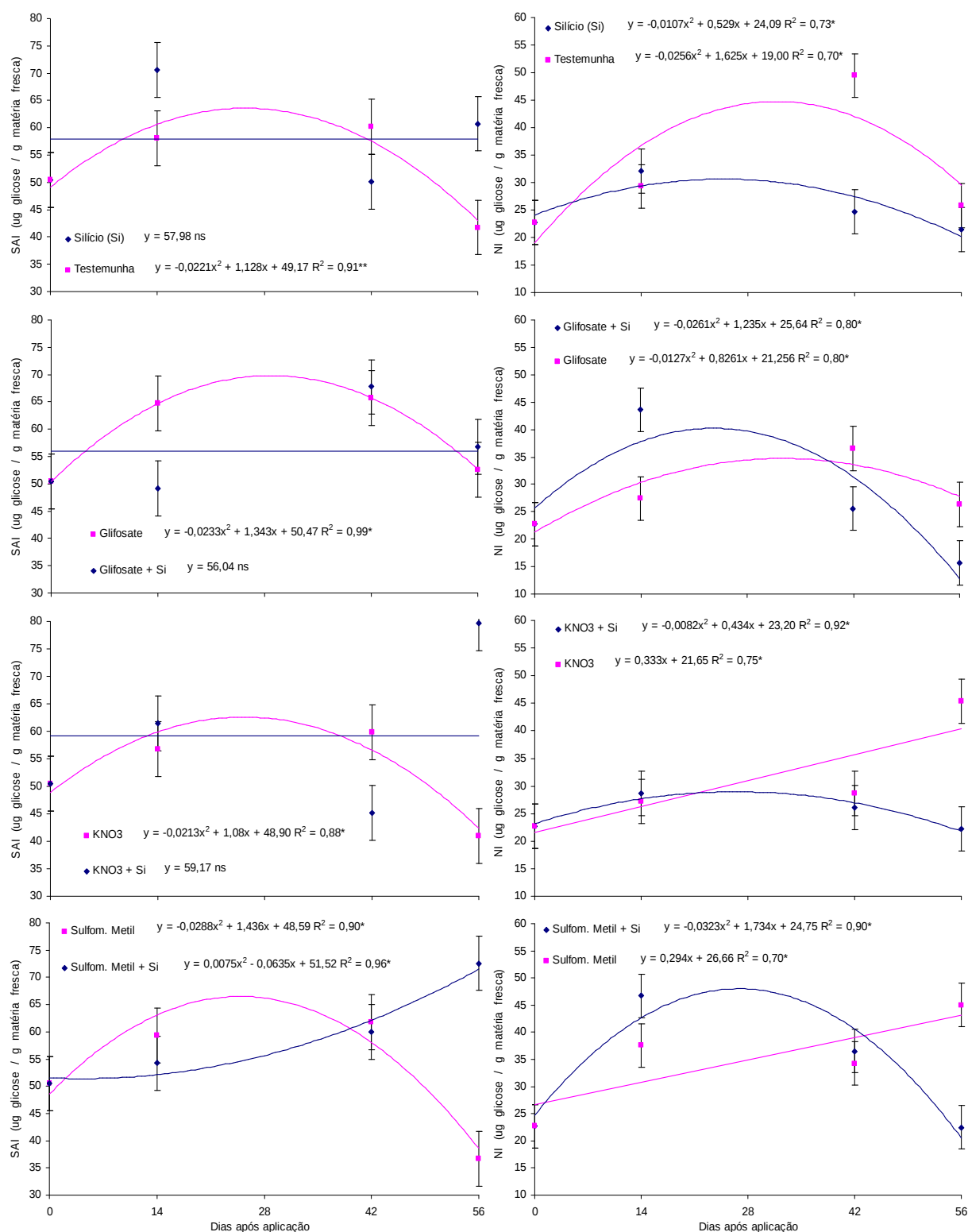


Figura 48. Atividade das invertases ácida (SAI) e neutra (NI) no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarapu do Tietê (SP), safra 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

6.2.2.2 Teor de silício e potássio nas folhas da cana-de-açúcar

Na Figura 49 estão contidos os resultados referentes à determinação do elemento benéfico, silício, nas folhas da cana-de-açúcar (folha +3) conforme os tratamentos adotados e as épocas de avaliação. Na instalação do experimento não houve diferença significativa entre os tratamentos, contudo, a aplicação do silício, isolado ou associado aos maturadores, ocasionou aumento no teor do elemento na matéria seca das folhas da cana-de-açúcar, cujos valores foram, de forma geral, estatisticamente superior em comparação com os tratamentos caracterizados pela ausência do uso do mesmo.

As plantas submetidas à aplicação foliar do silício, isolado e associado aos compostos químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), apresentaram resposta expressa por modelo quadrático positivo, crescente até os 15 DAA (1,06 %), 27 DAA (1,16 %), 16 DAA (0,97 %) e 18 DAA (1,30 %), respectivamente, na safra 2006. Na safra subsequente padrão de comportamento semelhante foi observado para os tratamentos supracitados, cujos pontos de máximo foram determinados aos 34 DAA (0,95 %), 33 DAA (1,07 %), 29 DAA (1,13 %) e 41 (1,24 %), respectivamente (Figura 49).

O teor de potássio nas folhas da cana-de-açúcar para cada época de amostragem encontra-se na Tabela 20, sendo possível afirmar que a aplicação do silício, cujo produto comercial Fertisil, contendo segundo o fabricante 26 % de SiO_2 e 12 % K_2O , não induziu qualquer efeito significativo sobre o teor do macronutriente.

Os resultados mostrados na Figura 49 quanto ao teor foliar de silício na matéria seca das folhas da cana-de-açúcar concordam com outros trabalhos encontrados na literatura. No entanto, tais resultados evidenciam que a aplicação foliar do silício, isolado ou associado aos diferentes produtos químicos, mostrou-se eficiente em elevar os teores do elemento nas folhas (Figura 19), influenciando de forma significativa a bioquímica e a fisiologia da cana-de-açúcar, com reflexos nos parâmetros tecnológicos e biométricos.

Para ANDERSON & BOWEN (1992) nas folhas da cana-de-açúcar a presença do silício tem sido determinada em altas concentrações, podendo variar entre 0,14 % a 6,7 % em folhas jovens e adultas respectivamente, sendo sugerido que o nível crítico de silício na matéria seca das folhas de cana (folha +1, na ausência da nervura principal) para o estado da Flórida seja superior a 1 % ou 10 g kg^{-1} , estando entre 1,50 % a 4,0 % o adequado

nível de silício. No Brasil, KORNDÖRFER et al. (2000) verificaram que a cana-de-açúcar apresenta teores variáveis de silício nas folhas conforme a variedade, sendo encontrado os teores de 0,76 %, 1,04 % e 1,14 % de silício para as variedades RB72454, SP79-1011, SP71-6163, respectivamente.

Na comparação dos resultados obtidos e mostrados na Tabela 20 com os teores foliares de K encontrados na literatura para a cultura da cana-de-açúcar, é possível constatar que, independente da safra, foi quantificado na matéria seca das folhas teores julgados abaixo e/ou próximos do nível crítico e adequado para a cultura, ou seja, 10 a 16 mg kg⁻¹, segundo RAIJ et al. (1996). Dessa forma é possível afirmar que não houve interferência do K nos resultados obtidos, sendo possível atribuir ao elemento silício as alterações fisiológicas e bioquímicas e suas implicações na produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.

Tabela 20. Teor de potássio (g kg^{-1} de matéria seca) nas folhas (folha +3) da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito dos maturadores, associados ou não à aplicação de silício. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2006/2007.

Tratamentos	Potássio (g kg^{-1} de matéria seca)			
	Safr 2006			
	0 DAA ⁽¹⁾	07 DAA ⁽¹⁾	14 DAA ⁽¹⁾	28 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	12,85 a	11,73 a	12,40 a	13,65 a
Silício (Si)	13,00 a	12,20 a	11,00 a	12,43 a
Glifosate	12,90 a	11,62 a	10,15 a	13,23 a
KNO ₃	12,83 a	12,12 a	12,70 a	12,60 a
Sulfometuron metil	12,80 a	11,85 a	12,25 a	13,08 a
Glifosate + Si	12,90 a	13,00 a	12,25 a	13,60 a
KNO ₃ + Si	12,90 a	13,40 a	12,80 a	14,12 a
Sulfom. metil + Si	12,80 a	12,78 a	12,60 a	13,77 a
CV (%) = 7,03				
Tratamentos	Safr 2007			
	0 DAA ⁽¹⁾	07 DAA ⁽¹⁾	14 DAA ⁽¹⁾	21 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	10,92 a	10,05 a	11,20 a	10,45 a
Silício (Si)	10,00 a	11,13 a	11,52 a	10,55 a
Glifosate	10,17 a	11,73 a	10,60 a	10,38 a
KNO ₃	10,56 a	10,82 a	11,20 a	10,93 a
Sulfometuron metil	10,10 a	11,53 a	10,72 a	10,35 a
Glifosate + Si	10,83 a	11,23 a	11,15 a	11,18 a
KNO ₃ + Si	10,74 a	11,32 a	10,17 a	11,07 a
Sulfom. metil + Si	10,87 a	11,23 a	10,58 a	11,02 a
CV (%) = 8,38				

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10 % de probabilidade.

⁽¹⁾ Dias após a aplicação

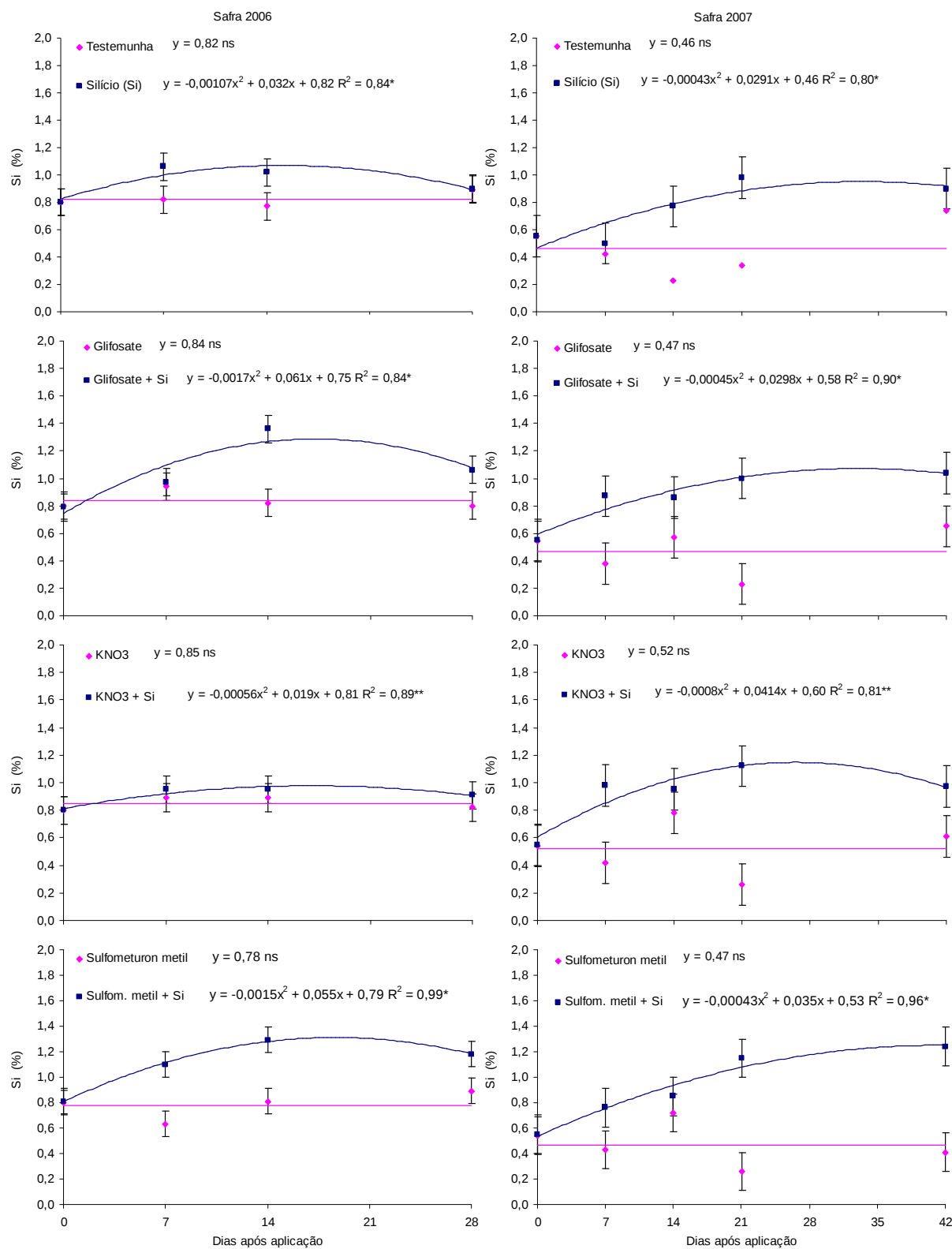


Figura 49. Teor de silício em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarçu do Tietê (SP), safras 2006 e 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

6.2.2.3 Altura das plantas e diâmetro dos colmos

Os valores da altura das plantas e do diâmetro dos colmos para as duas safras de condução do experimento estão contidos na Tabela 21, não sendo determinada variações em nenhuma das variáveis na instalação do experimento.

Com relação à altura de plantas na colheita do experimento, na safra 2006, aos 45 DAA, os tratamentos não induziram variações significativas sobre tal parâmetro biométrico. Contudo, na safra 2007, aos 56 DAA, as plantas do tratamento controle (maturação natural) e submetidas à aplicação foliar de silício apresentaram a maior altura, diferindo dos demais tratamentos, sendo mensurado para os tratamentos Glifosate e Sulfometuron metil, ambos associados ao silício, revelaram a menor altura (Tabela 21).

Na comparação entre épocas, na safra 2006, os tratamentos controle (maturação natural), aplicação foliar de silício e Sulfometuron metil associado ao silício não mostraram-se eficientes agentes maturadores, haja visto que não retardaram a retomada do processo de crescimento em altura das plantas de cana-de-açúcar, enquanto na safra subsequente, efeito semelhante pôde ser observado através do uso dos tratamentos controle (maturação natural), aplicação foliar de silício e KNO_3 associado ao silício (Tabela 21).

Com relação ao diâmetro dos colmos, aos 45 DAA, na safra 2006, determinou-se para os tratamentos Silício, Glifosate + Si, KNO_3 + Si e Sulfometuron metil + Si valores significativamente superiores em comparação ao Glifosate, sendo observado efeito significativo entre épocas, sendo mensurando incremento no diâmetro dos colmos apenas por meio do uso foliar de silício (Tabela 21). Por outro lado, na safra posterior, aos 56 DAA, as plantas submetidas à aplicação foliar do elemento revelaram maior diâmetro de colmos, diferindo dos tratamentos controle (maturação natural), Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil + Si, para os quais determinou-se o menor valor e, na comparação entre épocas houve efeito dos tratamentos controle (maturação natural) e silício sobre tal parâmetro, para os quais constatou-se aumento no diâmetro (Tabela 21).

ROMERO et al. (1998a) constataram que a aplicação de Glifosate reduziu a taxa de crescimento da planta e correlacionaram a dose empregada com o efeito inibitório. Todavia, relataram que aplicações no final de março causaram reduções mais severas na altura em comparação às aplicações no mês de abril e início de maio.

O glifosato inibe a atividade da enzima EPSPS (5-nolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase) e evita a conversão de chiquimato à corismato e a biossíntese dos aminoácidos fenilalanina, tirosina e triptofano, precursores de compostos secundários, entre eles os hormônios vegetais (RIZZARD et al., 2004). Assim, a biossíntese do ácido indolil acético (AIA) é inibida, uma vez que é sintetizado a partir do triptofano, o qual tem importante função quanto à promoção do alongamento e da divisão celular que se refletem no crescimento em altura das plantas (RODRIGUES & LEITE, 2004).

O sulfometuron metil atua pela inibição não competitiva da enzima ALS (acetolactato sintase) ou AHAS (acetohidroxi sintase), na rota de síntese dos aminoácidos ramificados – valina, leucina e isoleucina –, e interfere na síntese protéica, no balanço hormonal e na síntese de DNA, o que implica a paralisação do crescimento (RIZZARD et al., 2004).

O uso do nitrato de potássio (KNO_3) tem possibilitado sua atuação como indutor do processo de maturação decorrente da inibição temporária ou redução do ritmo de crescimento vegetativo, uma vez que se caracterizam por ocasionar injúria (ou estresse) química, capaz de estimular a síntese endógena do hormônio vegetal etileno, tendo em vista que a produção deste pela planta é favorecida por diversos fatores, sejam eles bióticos, abióticos ou xenobióticos (HARO et al., 2001; RODRIGUES & LEITE, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2004; LEITE, 2005; LEITE et al., 2009c).

Os resultados obtidos quanto à altura das plantas e diâmetro dos colmos (Tabela 14) podem ser explicados pela disponibilidade hídrica (Figura 1) e pelos níveis enzimáticos da SAI e NI (Figuras 47 e 48). Segundo TAIZ & ZEIGER (2004) a expansão foliar e o alongamento celular são processos extremamente sensíveis à situações de déficit hídrico decorrente do decréscimo do volume celular e conseqüente redução da pressão de turgor, a qual afeta diretamente a expansão celular, associado, ainda, à limitação da taxa fotossintética no interior do cloroplasto em resposta ao fechamento estomático.

Segundo diversos autores a água consiste num recurso essencial e limitante para a produtividade agrícola, constituindo o meio onde moléculas movimentam-se dentro de células e entre elas, influenciando a estrutura de proteínas, ácidos nucléicos, polissacarídeos e outros constituintes celulares e, sobretudo, forma o ambiente onde ocorre a maioria das reações bioquímicas celulares, com participação direta em diversas reações

químicas essenciais. No complexo fotossintético (fotossistema II) é responsável pela oxidação da molécula de água, com a remoção de elétrons, oxigênio e hidrogênio. Os prótons produzidos por este sistema bioquímico são liberados dentro do lume do tilacóide e transferidos para o estroma por translocação pela ATP sintase, contribuindo para o potencial eletro-químico operante na formação do ATP, composto altamente energético utilizado para a formação de açúcares na fase bioquímica da fotossíntese (TAIZ & ZEIGER, 2004; FIGUEIREDO, 2006C; FIGUEIREDO, 2008).

As plantas não deficientes em água aumentam sua taxa fotossintética e o transporte de sacarose e açúcares, direcionando a sacarose para o armazenamento e os açúcares (glicose e frutose) para a manutenção do metabolismo e crescimento. Por outro lado, plantas sob déficit hídrico mantêm o processo de fotossíntese, embora em taxa reduzida, com a produção de menor quantidade de açúcares, todavia são efetivamente armazenados nos colmos decorrente de sua pequena utilidade fisiológica (ALEXANDER, 1973; RODRIGUES, 1995; TAIZ & ZEIGER, 2004).

Os dados referentes aos parâmetros biométricos mostrados na Tabela 21, seja pelo uso foliar do silício isolado ou associado aos compostos químicos, considerando o estímulo na produção de etileno endógeno ocasionado por tais compostos (estresse fitotóxico) pode ser explicado, conforme EPSTEIN (1999), pela capacidade do silício em promover o crescimento em diversas espécies vegetais devido à melhoria da resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos, tais como o ataque de patógenos e herbívoros, alumínio e outros metais tóxicos, salinidade e estresse hídrico. Os efeitos podem ser atribuídos à incorporação do elemento na parede celular e sua contribuição para seu reforço, estímulo ao alongamento celular, mas não a divisão, decorrente do aumento significativo da extensibilidade da parede celular, com maior taxa de assimilação de CO₂ por planta e translocação de assimilados para a produção de grãos, aumentando a produtividade de plantas de arroz (KAWAMURA et al. 1995; TAKAHASHI, 1996; WANG et al., 1998; LU & NEUMANN, 1999; MORI et al., 1999; SOGA et al. 1999; HOSSAIN et al., 2002).

Tabela 21. Altura das plantas e diâmetro dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito de maturadores, associados ou não ao silício, na instalação e na colheita do experimento. Igaráçu do Tietê, SP, safras 2006/2007.

Tratamentos	Safr 2006		Safr 2007	
	0 DAA ⁽¹⁾	45 DAA ⁽¹⁾	0 DAA ⁽¹⁾	56 DAA ⁽¹⁾
	Altura das plantas (metros)			
Testemunha	2,55 aB	2,91 aA	2,06 aB	2,39 aA
Silício (Si)	2,53 aB	2,81 aA	2,07 aB	2,46 aA
Glifosate	2,56 aA	2,73 aA	1,98 aA	2,04 bA
KNO ₃	2,65 aA	2,75 aA	2,04 aA	2,10 bcA
Sulfometuron metil	2,67 aA	2,70 aA	2,02 aA	2,04 bA
Glifosate + Si	2,63 aA	2,70 aA	1,99 aA	2,06 cA
KNO ₃ + Si	2,65 aA	2,82 aA	2,06 aB	2,18 bA
Sulfom. metil + Si	2,56 aB	2,89 aA	2,00 aA	2,06 cA
CV (%)	5,09		5,15	
Diâmetro dos colmos (milímetros)				
Testemunha	27,73 aA	29,35 abA	25,09 aB	26,73 bA
Silício (Si)	27,09 aB	29,16 aA	25,42 aB	27,84 aA
Glifosate	28,06 aA	28,09 bA	25,85 aA	26,51 bA
KNO ₃	28,05 aA	29,27 abA	26,08 aA	26,60 bA
Sulfometuron metil	27,77 aA	28,64 abA	26,63 aA	27,17 abA
Glifosate + Si	27,68 aA	29,21 aA	26,47 aA	27,24 abA
KNO ₃ + Si	28,05 aA	28,97 aA	26,43 aA	26,88 abA
Sulfom. metil + Si	28,06 aA	28,39 aA	26,52 aA	26,80 bA
CV (%)	4,00		5,66	

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10 % de probabilidade.

⁽¹⁾ Dias após a aplicação.

6.2.2.4 Parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar referentes ao 1/3 superior e aos 2/3/ inferiores (porção mediana e basal) dos colmos

Nas Figuras 50 a 53 encontram-se os resultados obtidos para os parâmetros tecnológicos no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar, sendo possível constatar interação significativa para os tratamentos (testemunha, silício e maturadores, associados ou não ao elemento) e épocas de amostragem.

Pela Figura 50 referente à pol cana, de modo geral, a aplicação isolada do silício em comparação à maturação natural e, com relação ao uso dos maturadores isolados e a associação com o micronutriente, evidenciou o efeito significativo do silício, embora com magnitude variável, em induzir o acúmulo de sacarose na porção apical dos colmos da cana-de-açúcar, principalmente no segundo ano de condução do experimento.

Os tratamentos silício, $\text{KNO}_3 + \text{Si}$, Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + Si reduziram os teores de sacarose no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar com o transcorrer das épocas de amostragem na safra 2006, com mínimo acúmulo de sacarose aos 34 DAA, 41 DAA, 34 e 90 DAA, cujos teores calculados foram 10,18 %, 10,62 %, 10,75 % e 9,27 %, respectivamente (Figura 50).

Na safra 2007 os tratamentos, com exceção ao uso foliar de silício, induziram aumento significativo de sacarose com repostas quadráticas e crescentes até os 13 DAA, 18 DAA, 13 DAA, 12 DAA, 16 DAA, 19 DAA e 10 DAA, respectivamente, cujos teores calculados foram 12,98 %, 12,87 %, 13,04 %, 12,66 %, 13,03 %, 13,84 % e 12,72 %, respectivamente, para os tratamentos testemunha (maturação natural), Glifosate, Glifosate + B, KNO_3 , $\text{KNO}_3 + \text{Si}$, Sulfometuron metil + Si, e Sulfometuron metil (Figura 50).

Pelos resultados mostrados na Figura 51, 52 e 53 é possível constatar comportamento diferenciado entre os tratamentos com relação aos parâmetros tecnológicos pureza do caldo, açúcares redutores e fibra no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar principalmente na safra 2007 e, de forma geral, a combinação do elemento com os maturadores e sua aplicação isolada em relação à maturação natural (testemunha), praticamente não diferiram entre si.

Para a pureza do caldo, na safra 2006, foi determinado ajuste linear decrescente para o tratamento Sulfometuron metil, enquanto para o tratamento silício

determinou-se ponto de menor pureza do caldo aos 30 DAA (79,99 %) (Figura 52). Na safra posterior houve ajuste quadrático crescente até os 20 DAA (86,15 %), 23 DAA (86,67 %), 23 DAA (85,55 %), 21 DAA (86,18 %), 17 DAA (84,93 %) e 20 DAA (85,79 %), para os tratamentos testemunha (maturação natural), Glifosate, KNO_3 , KNO_3 + Si, Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + Si, respectivamente, seguido de decréscimo nos valores deste parâmetro tecnológico (Figura 51).

Com relação ao teor de açúcares redutores no terço superior dos colmos da cana-de-açúcar na safra 2006, apenas o tratamento com Sulfometuron metil afetou tal variável, proporcionando decréscimo até os 10 DAA (0,60 %), seguido da estabilização dos níveis de açúcares (Figura 53). Na safra 2007 para os tratamentos testemunha (maturação natural), Glifosate, KNO_3 , KNO_3 + Si, Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + Si houve ajuste quadrático, cujo ponto de mínimo calculado ocorreu aos 21 DAA (0,50 %), 23 DAA (0,51 %), 23 DAA (0,54 %), 22 DAA (0,51 %), 20 DAA (0,53 %) e 20 DAA (0,55 %), respectivamente (Figura 52).

Os tratamentos Glifosate e Sulfometuron metil + Si, quanto ao teor de fibras no terço superior dos colmos no primeiro ano de condução do experimento, foram ajustados à modelos quadráticos positivos, sendo determinado o ponto calculado de máximo teor de fibras aos 23 DAA (18,19 %) e 23 DAA (17,41 %), respectivamente; enquanto na safra subsequente a aplicação de silício, KNO_3 + Si e Sulfometuron metil produziram efeito sobre tal parâmetro tecnológico, com ajuste quadrático e máximo teor de fibras calculado aos 27 DAA (18,63 %), 24 DAA (19,73 %) e 26 DAA (19,80 %), respectivamente (Figura 53).

Na Figura 54 encontram-se os resultados obtidos para o parâmetro tecnológico pol cana nos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar, sendo possível constatar interação significativa para os tratamentos (testemunha, silício e maturadores, associados ou não ao elemento) e épocas de amostragem, principalmente no primeiro ano de condução do experimento, sendo determinada respostas distintas para os tratamentos.

Na safra 2006 os tratamentos testemunha (maturação natural), silício, Glifosate, Glifosate + Si, KNO_3 , KNO_3 + Si, Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + Si apresentaram comportamento expresso por modelo quadrático, cujo máximo teor de sacarose calculado ocorreu aos 20 DAA (16,85 %), 14 DAA (16,50 %), 21 DAA (16,73 %), 20 DAA (186,75 %), 21 DAA (16,66 %), 23 DAA (16,99 %), 37 DAA (16,96 %) e 40 DAA (16,63 %),

respectivamente. Na safra 2007 resposta semelhante foi determinada para os tratamentos Sulfometuron metil e Sulfometuron metil associado ao silício, com máximo valor calculado de pol cana aos 24 DAA (17,67 %) e 26 DAA (17,10 %), respectivamente (Figura 54).

Para os demais parâmetros tecnológicos determinados na porção basal e mediana dos colmos, isto é, pureza do caldo, açúcares redutores cana e fibra cana, pelo desdobramento dos tratamentos dentro de cada nível de amostragem (DAA) é possível constatar que, de forma geral, os tratamentos pouco influenciaram tais parâmetros e, quando houve efeito, não foram observadas diferenças estatísticas (Figuras 55 a 57).

Com relação à pureza do caldo, na safra 2006 os tratamentos $\text{KNO}_3 + \text{Si}$ foi ajustado a modelo quadrático crescente até os 25 DAA (89,02 %), enquanto os tratamentos Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + Si revelaram tendência linear crescente com o transcorrer das épocas de amostragem. Na safra 2007 somente os dois últimos tratamentos supracitados influenciaram tal parâmetro tecnológico, os quais foram ajustados à modelos quadráticos, com máxima pureza aos 28 DAA (89,99 %) e 29 DAA (89,29 %), respectivamente (Figura 55).

Por meio da Figura 56, referente à presença de açúcares redutores na porção basal e mediana dos colmos da cana-de-açúcar na safra 2006, é possível constatar redução quadrática até os 24 DAA (0,49 %) e 36 DAA (0,49 %), seguido de incremento, para os tratamentos KNO_3 e Sulfometuron metil, ambos associados ao silício, enquanto para o uso isolado do Sulfometuron metil houve ajuste linear decrescente. Na safra 2007, comportamento quadrático com menor valor de AR cana aos 28 DAA (0,45 %) e 30 DAA (0,48 %), respectivamente, foi determinado para os tratamentos Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + Si (Figura 56).

Os dados referentes aos teores de fibra da cana-de-açúcar na porção basal e mediana dos colmos da cana-de-açúcar estão contidos na Figura 57, sendo possível afirmar que os tratamentos influenciaram tal parâmetro principalmente na safra 2006, apresentando tendência linear crescente com o transcorrer das épocas de amostragem, contudo o uso do agente químico Sulfometuron metil associado ao silício foi ajustado à modelo matemático quadrático, com máximo teor calculado aos 26 DAA (12,82 %) (Figura 57).

Na literatura praticamente são inexistentes os dados relacionados à qualidade tecnológica da matéria-prima pelo uso de maturadores, isolados ou associados ao

silício, em final de safra, principalmente tratando-se do fracionamento dos colmos da cana-de-açúcar. Nesse contexto, os resultados referentes aos parâmetros tecnológicos determinados no 1/3 superior e nos 2/3 inferiores dos colmos (Figuras 50 a 57) comprovam a significativa influência das condições climáticas (Figura 1) sobre o processo de maturação da cana-de-açúcar, principalmente quanto às diferenças na disponibilidade hídrica entre as safras, de modo que, de forma geral, os compostos químicos possibilitaram a manutenção de elevados teores de sacarose nos colmos, sendo o dissacarídeo acumulado no período favorável ao repouso fisiológico, porém reutilizado como fonte de carbono e energia na retomada do desenvolvimento vegetal, decorrente das condições climáticas propícias à tal processo, correlacionando-se com a atividade das enzimas SAI e NI (Figuras 47 e 48). É importante ressaltar que, de forma geral, o efeito da aplicação foliar do silício associado aos produtos químicos em induzir o significativo acúmulo de sacarose na porção mediana e basal dos colmos na safra 2006 (Figura 50) e na porção superior dos colmos na safra 2007 (Figura 54).

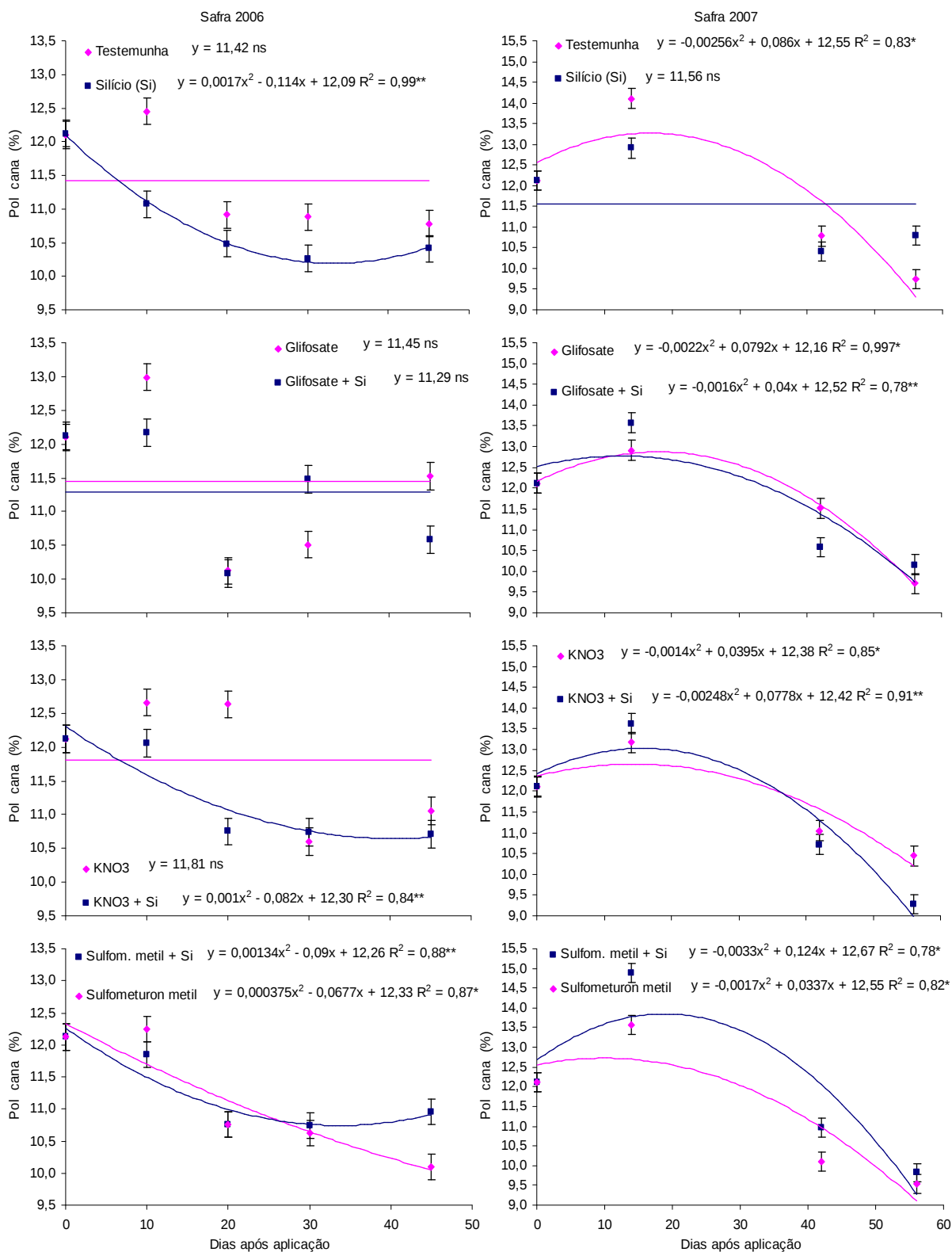


Figura 50. Pol cana (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarazu do Tietê (SP), safras 2006 e 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

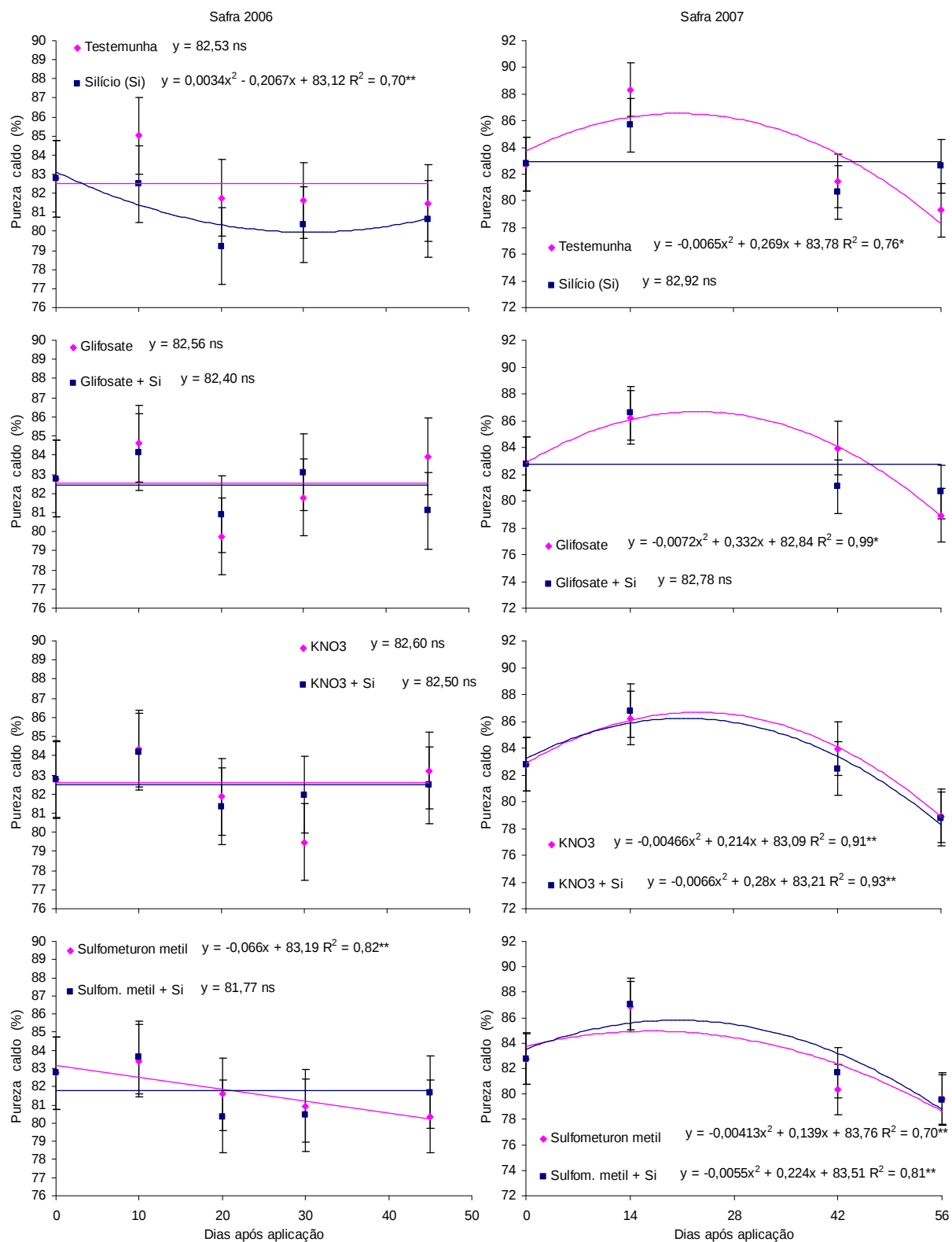


Figura 51. Pureza caldo (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarapé do Tietê (SP), safras 2006 e 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

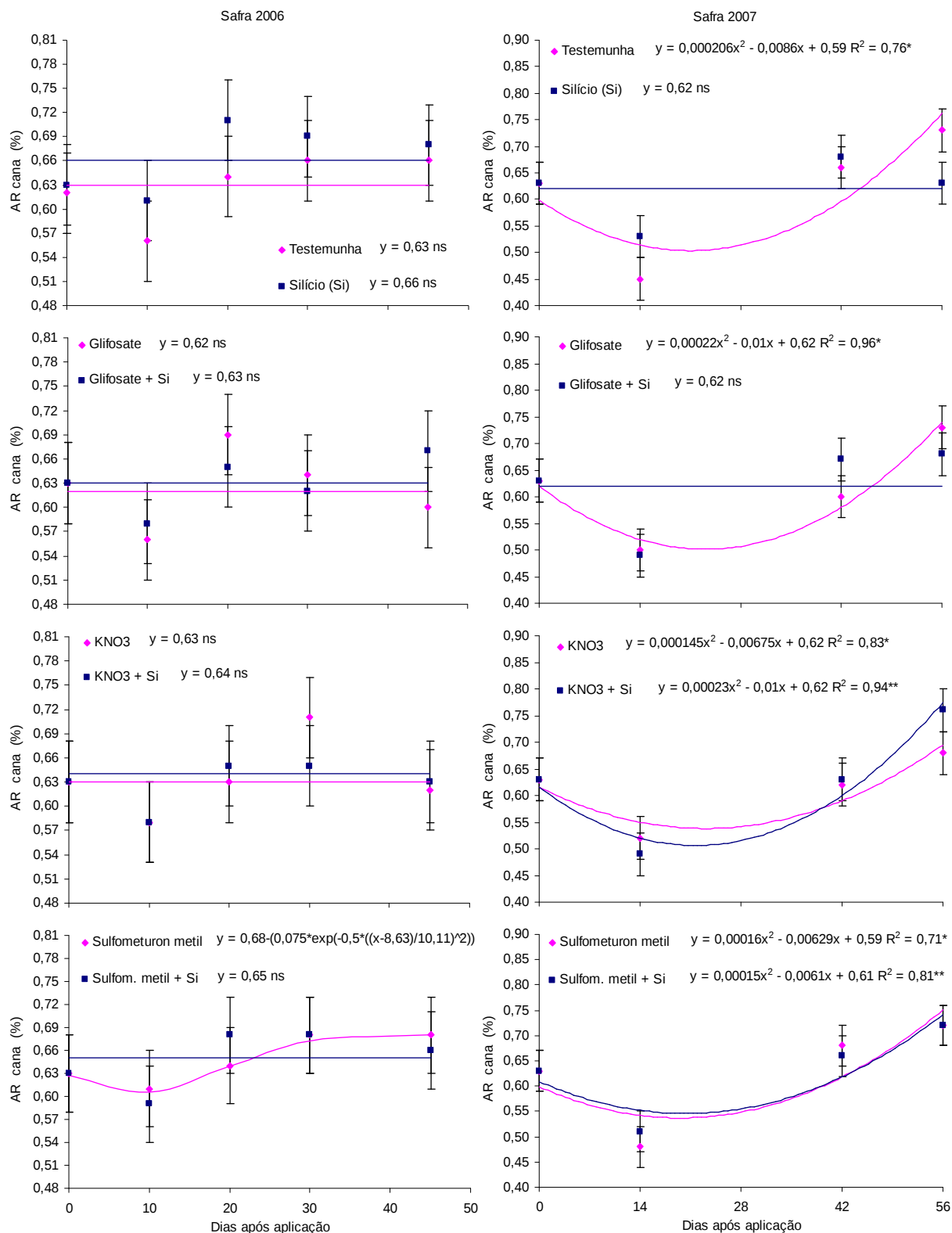


Figura 52. Açúcares redutores cana (AR cana, %) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarapé do Tietê (SP), safras 2006 e 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

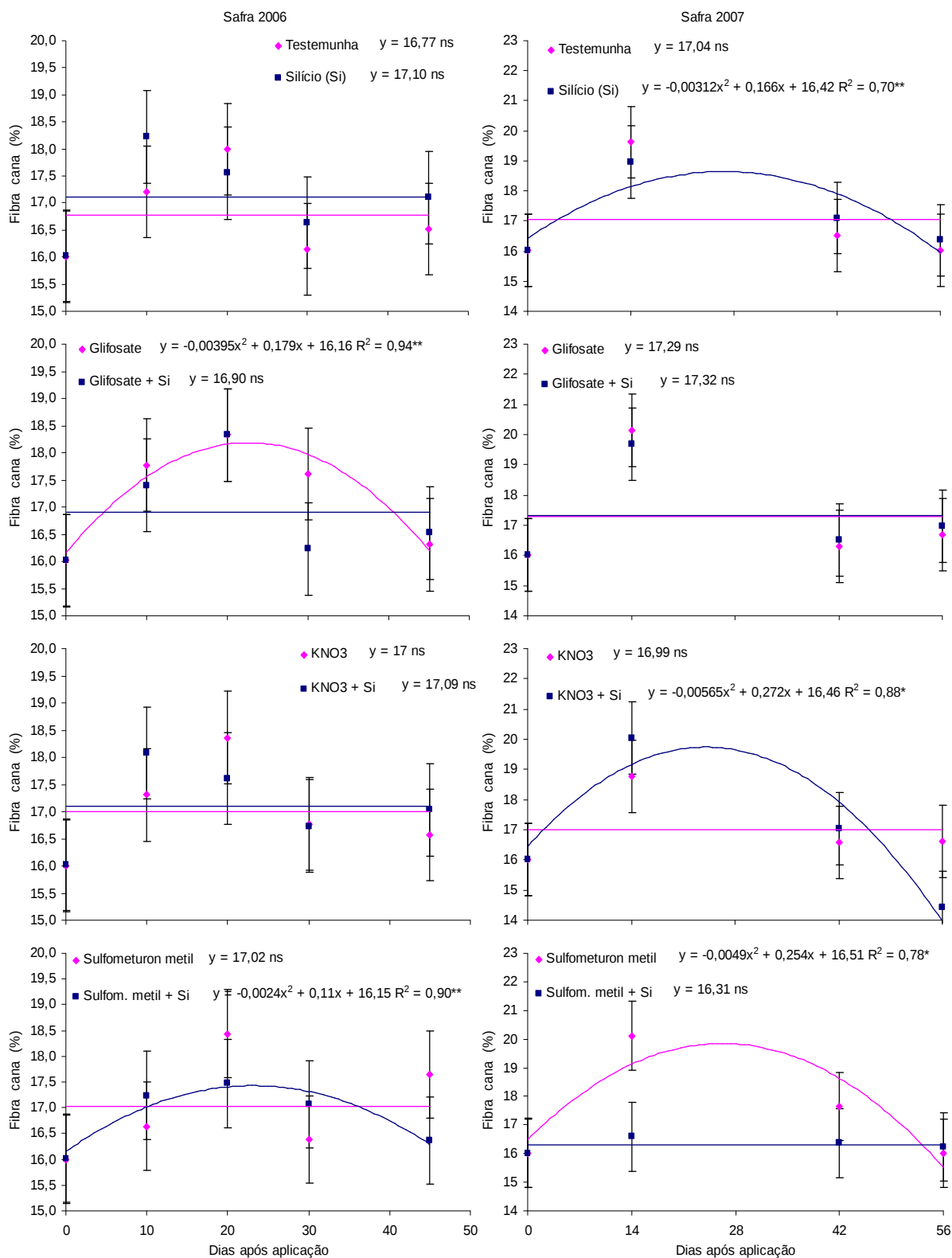


Figura 53. Fibra cana (%) do 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarau do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

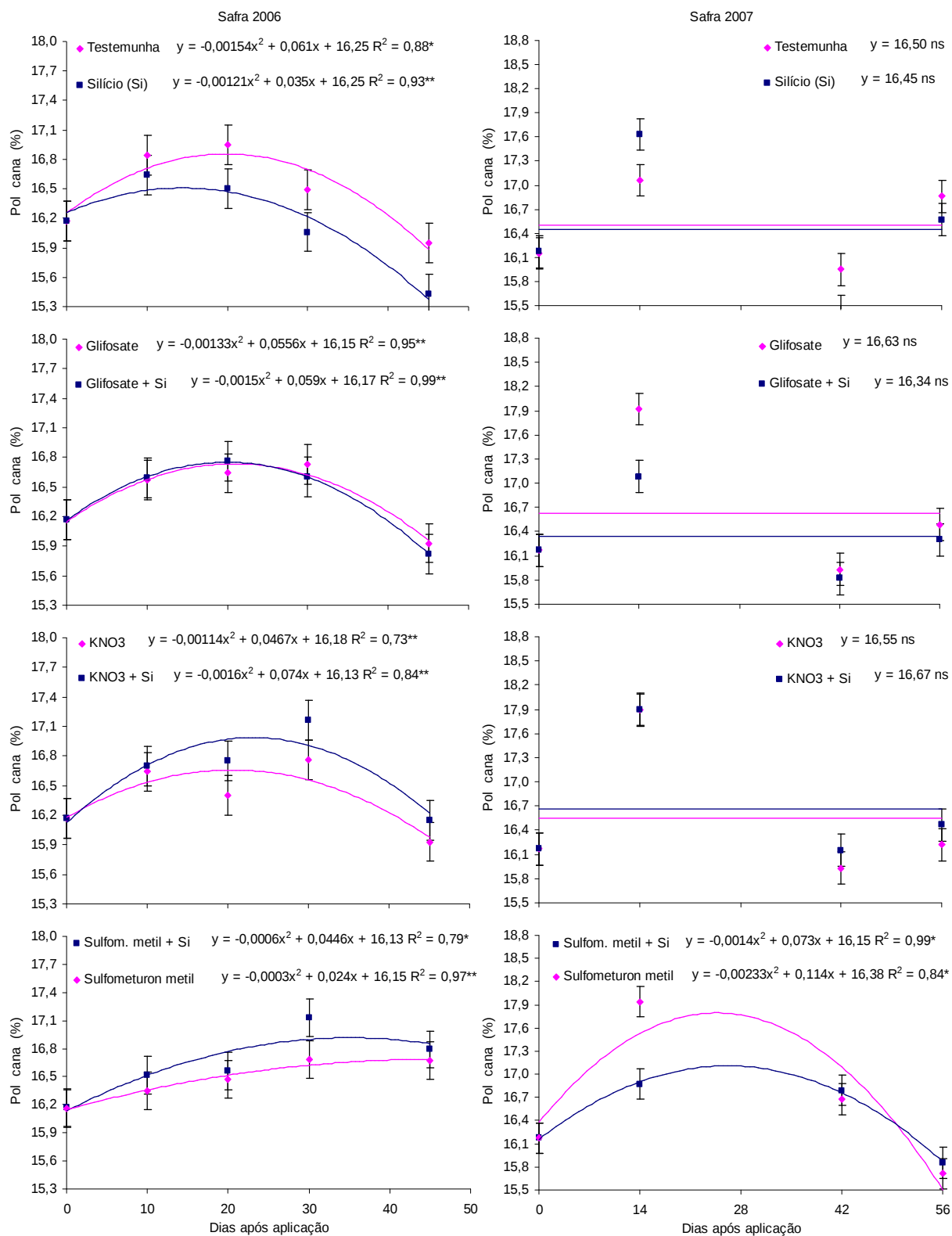


Figura 54. Pol cana (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarapé do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

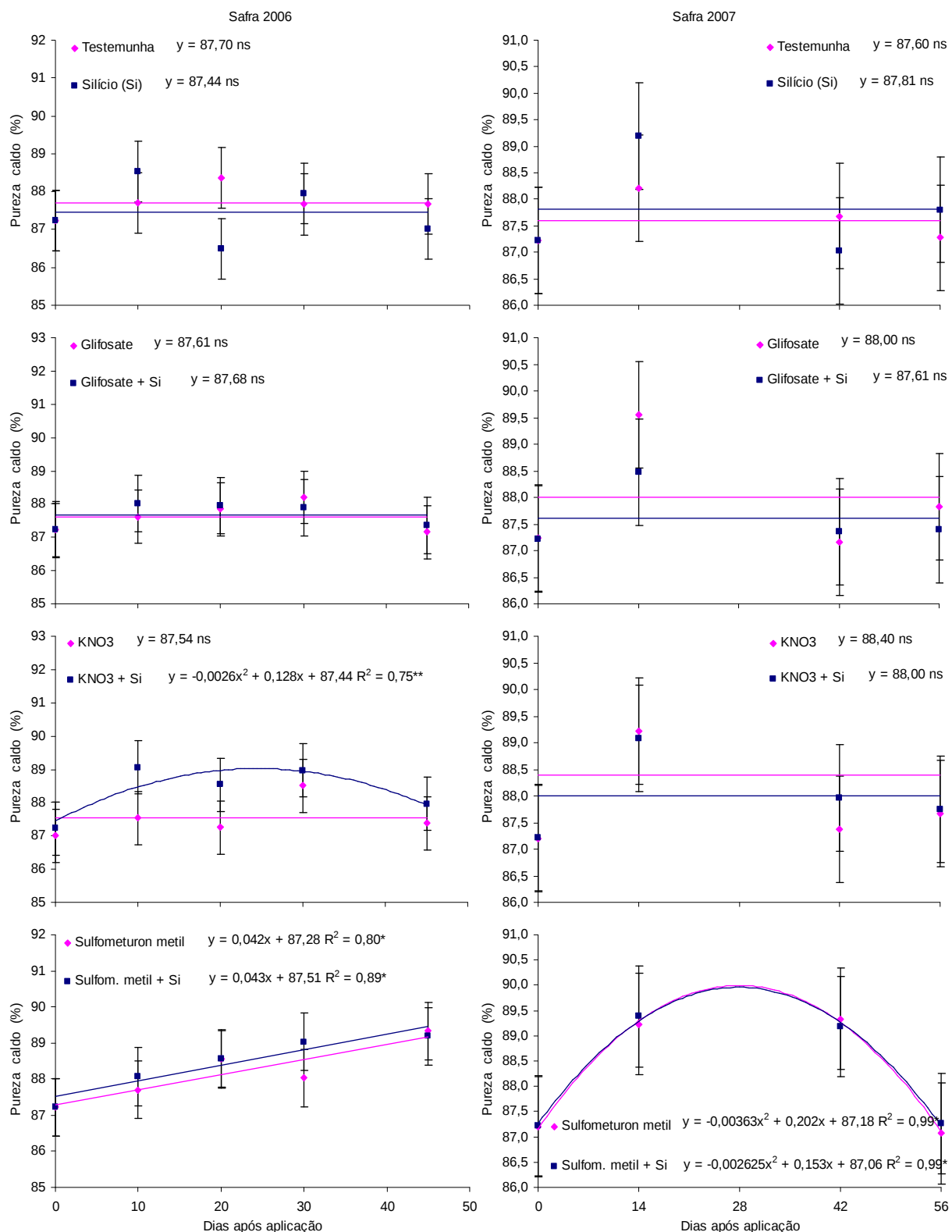


Figura 55. Pureza caldo (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarapé do Tietê (SP), safras 2006 e 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

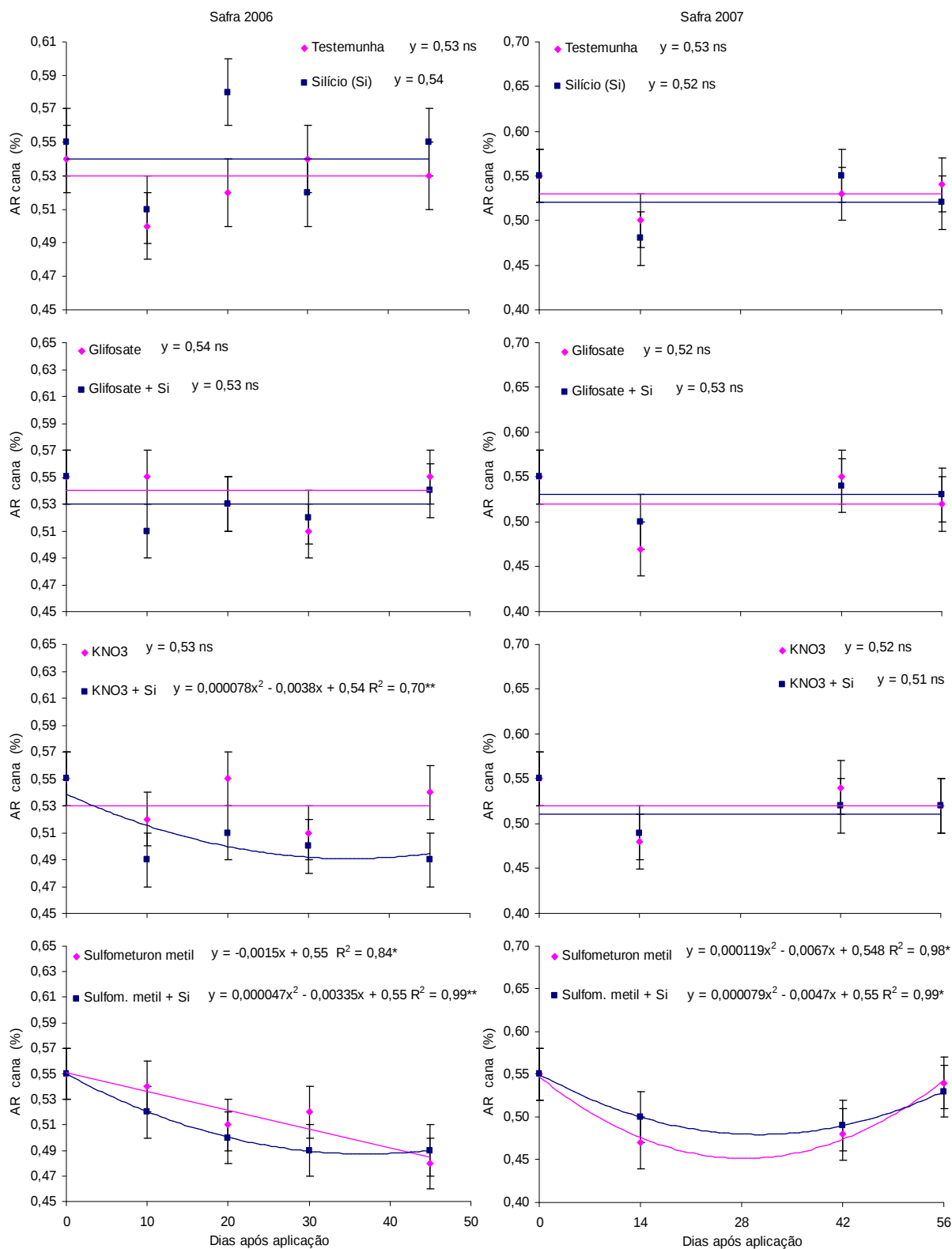


Figura 56. Açúcares redutores (AR cana, %) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarapé do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

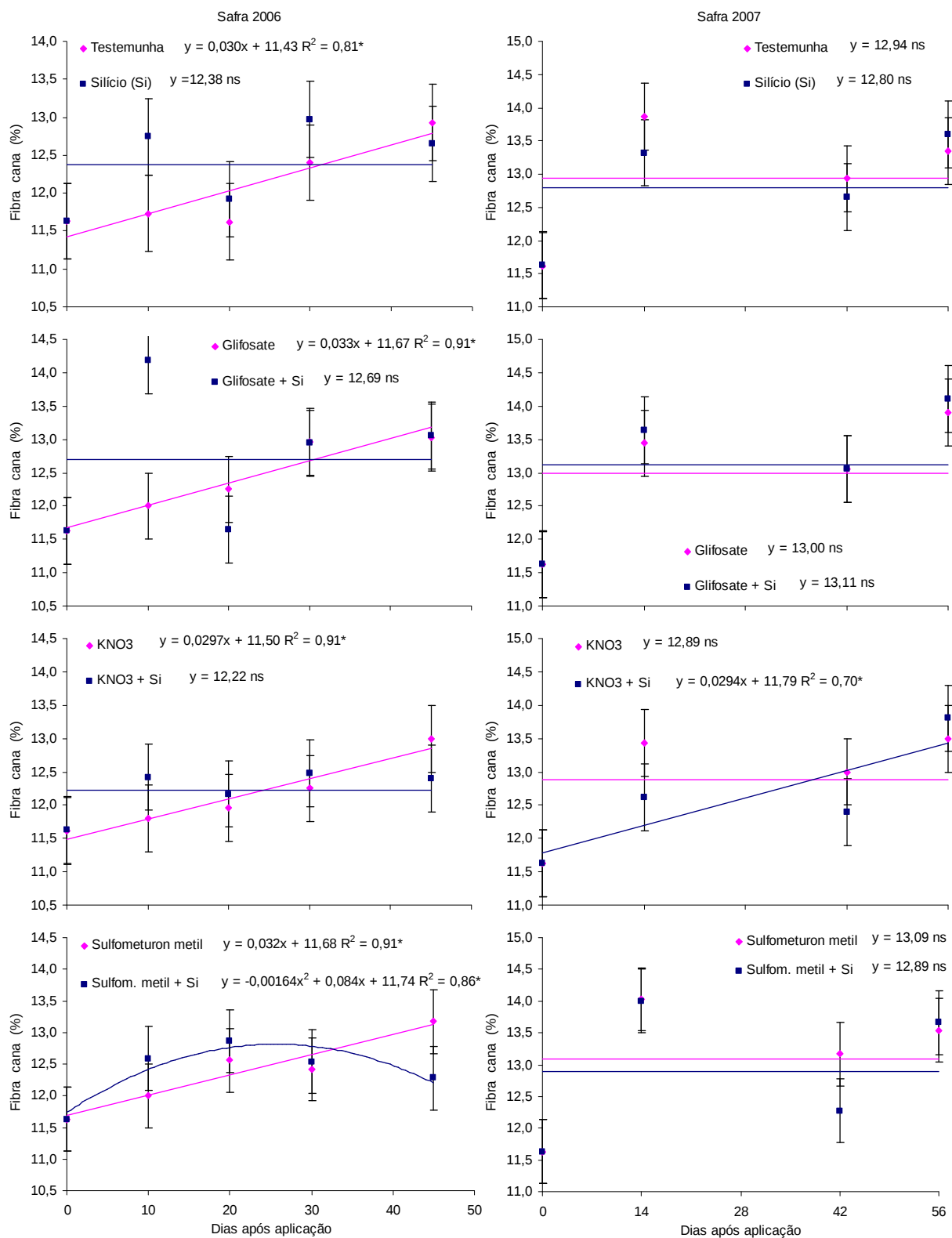


Figura 57. Fibra cana (%) dos 2/3 inferiores dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarapé do Tietê (SP), safras 2006 e 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

6.2.2.5 Curvas de maturação da cana-de-açúcar

Na região Sudeste do Brasil, o processo de maturação da cana-de-açúcar ocorre naturalmente no início do mês de maio, atingindo seu clímax no mês de agosto/setembro. As condições climáticas, com a queda gradativa da temperatura e a diminuição das precipitações pluviais, até seca total no meio do ano, são as determinantes desse processo. A fotossíntese continua ocorrendo normalmente, enquanto houver folhas verdes, com a produção de açúcar que vai se acumulando nos espaços disponíveis nos colmos. Ocorre então, mesmo com a paralização do crescimento vegetativo, a elevação de matéria seca acumulada, formada basicamente pela sacarose (DEUBER, 1988; ANDRADE, 2006).

Dentro do complexo sistema de produção da indústria açucareira, a maturação da cana-de-açúcar é um dos aspectos dos mais importantes, pois é dele que depende o fornecimento de um fluxo contínuo de matéria-prima para o funcionamento constante da usina durante o período de colheita (ALMEIDA et al., 2003).

Na Figura 58 encontram-se as curvas de maturação da variedade de cana-de-açúcar SP80-3280, resultantes do desdobramento da interação entre as épocas (DAA) x tratamentos (maturação natural, silício e maturadores), sendo os dados ajustados à diferentes funções matemáticas conforme o tratamento empregado.

Na safra 2006 os tratamentos testemunha (maturação natural), silício, Glifosate, Glifosate + Si, KNO_3 , Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + Si induziram aumento no teor de sacarose nos colmos de forma quadrática, determinando-se o ponto de máximo acúmulo de sacarose aos 19 DAA (15,86 %), 19 DAA (15,98 %), 25 DAA (15,66 %), 22 DAA (16,22 %), 23 DAA (15,57 %), 29 DAA (15,54 %) e 22 DAA (15,78 %), respectivamente, com posterior declínio (Figura 58). Por outro lado, na safra 2007 os tratamentos testemunha (maturação natural), Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + Si elevaram o teor de sacarose nos colmos até os 15 DAA (16,76 %), 25 DAA (16,99 %) e 24 DAA (16,50 %), respectivamente (Figura 58).

Pela interpretação conjunta das Figuras 50, 54 e 58, é possível constatar o efeito significativo do silício associado aos compostos químicos principalmente na safra 2006, correlacionando tal efeito ao incremento do teor de sacarose nas diferentes porções dos colmos, mas principalmente nos 2/3 inferiores, aliado às condições climáticas de cada período

(Figura 1) e ao mecanismo de ação específico de cada agente, os quais podem induzir a síntese de etileno. Nesse contexto, o silício foliar provavelmente poderia apresentar ação atenuante sobre os efeitos de tal hormônio no metabolismo vegetal, como pôde ser constatado pela combinação do elemento com os compostos químicos.

Segundo EPSTEIN (1994) o silício pode reduzir o estresse salino e reduzir o processo de transpiração das plantas, com importante desempenho do elemento também na proteção das folhas quanto aos danos da radiação ultravioleta por filtrar estes raios (TISDALE et al., 1993), possivelmente devido ao acúmulo de silício principalmente nas células da epiderme e tricomas das folhas, que parece favorecer o crescimento e a resistência ao estresse (PARRY & SMITHSON, 1964; LUX et al., 1999). Para SCHMIDT et al. (1999) o silício aumentou os níveis de enzimas antioxidantes, a capacidade fotossintética e o conteúdo de clorofila em gramados sob condições de baixa umidade, enfatizando que o maior nível de enzimas antioxidantes em plantas tratadas com silício parece criar condições de tolerância a este tipo de estresse.

LIANG (1999) observou que plantas de arroz crescidas em solução nutritiva contendo silício apresentavam atividade de enzimas antioxidantes 24% maior que as plantas crescidas em meio sem silício, sob condições de estresse salino, contribuindo para a manutenção da integridade da membrana, diminuindo sua permeabilidade. Segundo LIANG et al. (1996) e WANG & GALLETTA (1998), o silício aumenta o conteúdo de glicolipídeos e fosfolipídeos, o que estaria relacionado ao incremento do conteúdo de clorofila e a maior estabilidade e funcionamento da membrana plasmática, com reflexo positivo na taxa fotossintética.

ADATIA & BESFORD (1986) observaram, em plantas de pepino, vários efeitos devido à adição de silício (100 mg kg^{-1}) ao meio nutritivo, dentre os quais o aumento no teor de clorofila, a maior massa foliar específica (fresca e seca), atraso na senescência e aumento da rigidez das folhas maduras, as quais se mantiveram mais horizontais, de modo que a melhoria na arquitetura foliar permitiu a maior penetração de luz solar, maior absorção de CO_2 e diminuição da transpiração excessiva, beneficiando a taxa fotossintética (TAKAHASHI, 1996).

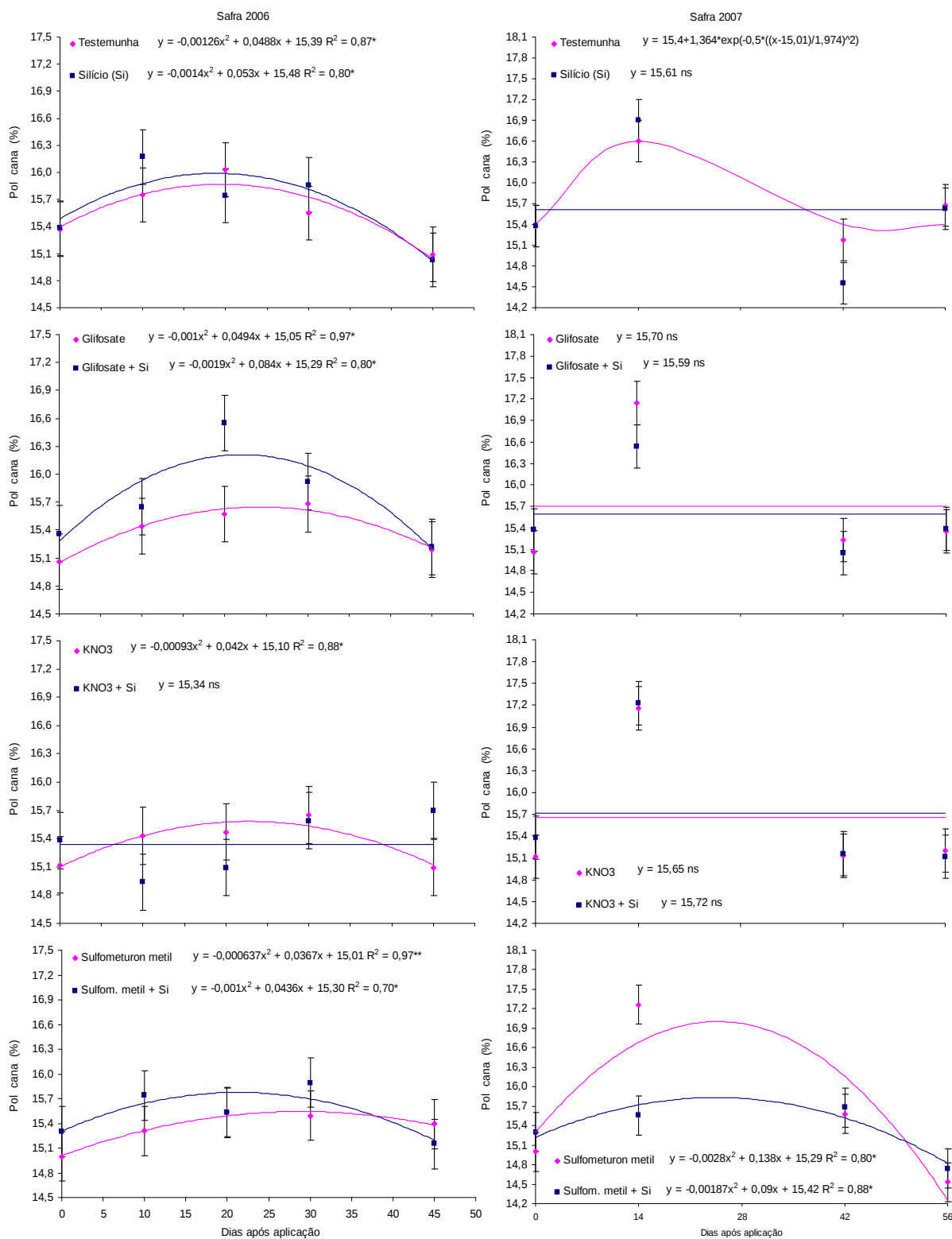


Figura 58. Curvas de maturação da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarauçu do Tietê (SP), safras 2006 e 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

6.2.2.6 Amido no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar

Na literatura há evidências negativas do amido presente no caldo de cana-de-açúcar no processo de cristalização e recuperação do açúcar durante sua fabricação (ANYANGWA et al., 1993; ONNA & HASHIMOTO, 1993). Segundo TAIZ & ZEIGER (2004) e CASTRO (2002) o amido está intimamente relacionado aos tecidos imaturos, em processo de alongamento e expansão celular.

Na Figura 59 encontram-se os teores de amido determinados na porção apical dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280, resultantes do desdobramento da interação entre as épocas (DAA) x tratamentos (maturação natural, silício e maturadores), verificando-se que a presença em quantidade deste carboidrato foi influenciada de forma diferenciada pelos tratamentos adotados, cujos dados foram ajustados à funções quadráticas.

Na safra 2006 os tratamentos Glifosate, Glifosate + Si e KNO_3 + Si promoveram aumento quadrático do teor de amido no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar até os 19 DAA (0,041 %), 17 DAA (0,048 %) e 17 DAA (0,050 %), respectivamente. Na safra subsequente tendência semelhante ocorreu para os tratamentos Glifosate, KNO_3 e KNO_3 + B, cuja máxima quantidade calculada de amido ocorreu aos 29 DAA (0,039 %), 23 DAA (0,026 %) e 27 DAA (0,033 %), respectivamente, sendo constatado efeito inverso para o tratamento Glifosate + Si, isto é, decréscimo até os 37 DAA (0,017 %) com posterior incremento (Figura 59).

Para CÉSAR & MAZZARI (1972) o teor de amido na cana de açúcar sofre influência de diversos fatores, dentre os quais, variedade, tipo de solo, estágio de desenvolvimento, adubação, sendo observado neste ensaio significativo efeito do fator estágio desenvolvimento da cultura, como pode ser constatado pelos dados de altura de plantas (Tabela 21) e pelo declínio do teor de sacarose nos colmos, fonte de energia e carbono para o processo de retomada do desenvolvimento vegetativo (Figuras 50, 54 e 58).

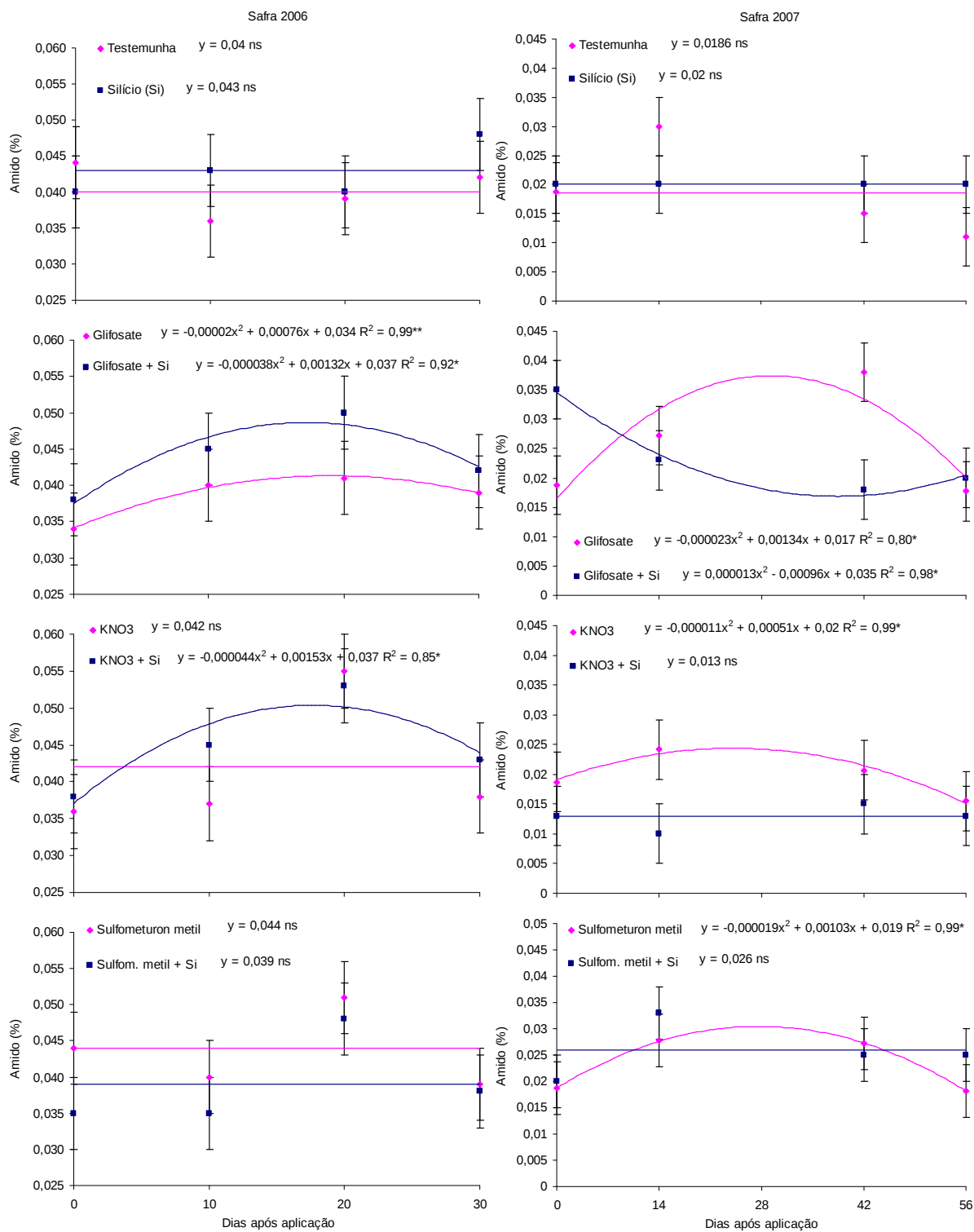


Figura 59. Amido (%) no 1/3 superior dos colmos da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarau do Tietê (SP), safras 2006/2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 10 %.

6.2.2.7 Produtividade de colmos (TCH) e açúcar (TPH)

Por meio da Figura 60 referente ao desdobramento das épocas de avaliação (DAA) x tratamentos é possível constatar efeito significativo dos tratamentos sobre a produtividade de colmos por hectare (TCH), todavia com ajustes matemáticos diferenciados conforme o tratamento empregado, não sendo observada diferença estatística entre os tratamentos testemunha (maturação natural) e a aplicação foliar de silício, assim como entre a aplicação isolada dos compostos químicos e suas associações com o elemento. Na safra 2006 e 2007 os tratamentos revelaram tendência linear crescente ao longo das épocas de amostragem (Figura 60).

Na Figura 60 encontram-se os dados referentes à produtividade de açúcar (TPH) resultantes do desdobramento da interação entre as épocas de amostragem (DAA) x tratamentos, sendo os dados ajustados às funções lineares e quadráticas conforme os diferentes mecanismos de ação dos agentes químicos empregados e suas associações com o silício, todavia, de forma geral, sem diferenças estatísticas entre si.

Para a TPH na safra 2006 os tratamentos KNO_3 + Si e Sulfometuron metil + Si apresentaram resposta expressa por modelo linear crescente com o transcorrer das épocas de amostragem, enquanto para os tratamentos testemunha (maturação natural), silício, Glifosate, Glifosate + Si, KNO_3 e Sulfometuron metil houve ajuste a modelo quadrático crescente até os 36 DAA (13,15 ton açúcar ha^{-1}), 25 DAA (12,40 ton açúcar ha^{-1}), 26 DAA (12,05 ton açúcar ha^{-1}), 25 DAA (12,96 ton açúcar ha^{-1}), 31 DAA (12,70 ton açúcar ha^{-1}) e 15 DAA (11,71 ton açúcar ha^{-1}), respectivamente (Figura 61). Por outro lado, na safra subsequente este comportamento foi observado somente para os tratamentos Glifosate + Si e Sulfometuron metil + Si, cujo máximo valor calculado de TPH foi obtido aos 54 DAA (10,54 ton açúcar ha^{-1}) e 28 DAA (10,23 ton açúcar ha^{-1}), respectivamente (Figura 61).

O silício contribui para a qualidade final do vegetal, pois seu acúmulo na cutícula das folhas permite proteção às plantas, aumento da capacidade fotossintética, redução de perda de água e promoção de maior crescimento (EPSTEIN, 1999). Segundo FERREIRA (2008), em experimento hidropônico, o silício promoveu aumento na taxa de fotossíntese, assim como a diminuição na perda de água através da transpiração, associado a diminuição da condutância estomática indicando a contribuição significativa no fechamento de

estômatos, resultando em menor perda de água para atmosfera, conseqüentemente maior resistência ao estresse hídrico, maior vigor e tolerância à doenças. Para o autor a ativação de enzimas antioxidantes como a catalase foi acelerada e correlacionou com os teores de proteína e as doses de silício durante as 11 semanas avaliadas.

A interpretação conjunta da Figuras 50, 54, 58 e 60 permite afirmar que os parâmetros pol cana do 1/3 superior e dos 2/3 inferiores dos colmos, a curva de maturação e a TCH (tonelada de cana ha^{-1}) têm influência significativa sobre a quantificação da TPH (tonelada de açúcar (pol) ha^{-1}), ressaltando que tais efeitos são induzidos pela presença dos diferentes agentes indutores ou promotores da maturação associados às condições climáticas (Figura 1). Nesse contexto, na safra 2006, o incremento dos valores de TPH nos tratamentos Glifosate e Sulfometuron metil associados ao silício pode ser atribuído aos maiores valores de pol cana determinados para tais tratamentos, com menor influência da TCH.

Segundo SEGATO et al. (2006), diversos fatores estão envolvidos na produção canavieira, dentre eles o conhecimento da planta de cana-de-açúcar, isto é, suas características varietais e seus atributos ecofisiológicos relacionados com a produção agrícola (expressa em toneladas de colmos por hectare – TCH) e acumulação de açúcar (medida em sacarose aparente – POL cana ou, açúcar teórico recuperável – ATR) – e o vínculo adequado da logística de colheita aos fatores agrônômicos. A influência dos componentes primários da produção (TCH, Pol cana ou ATR) no rendimento agroindustrial das lavouras é indiscutível, portanto é fundamental utilizar cada componente em seu momento mais propício.

Para LEITE et al. (2008) e LEITE et al. (2009) a eficiência agrônômica de maturadores com distintos mecanismos de ação foi influenciada pela época de aplicação, pela condição climática e pela característica genética da variedade, ressaltando que a aplicação dos maturadores em 10/05/2004 permitiu explorar, de forma significativa, o potencial genético da variedade quanto ao acúmulo de sacarose nos colmos, implicando em melhoria na qualidade tecnológica da matéria-prima, sendo determinado reflexo direto da produtividade de açúcar na margem de contribuição agrícola.

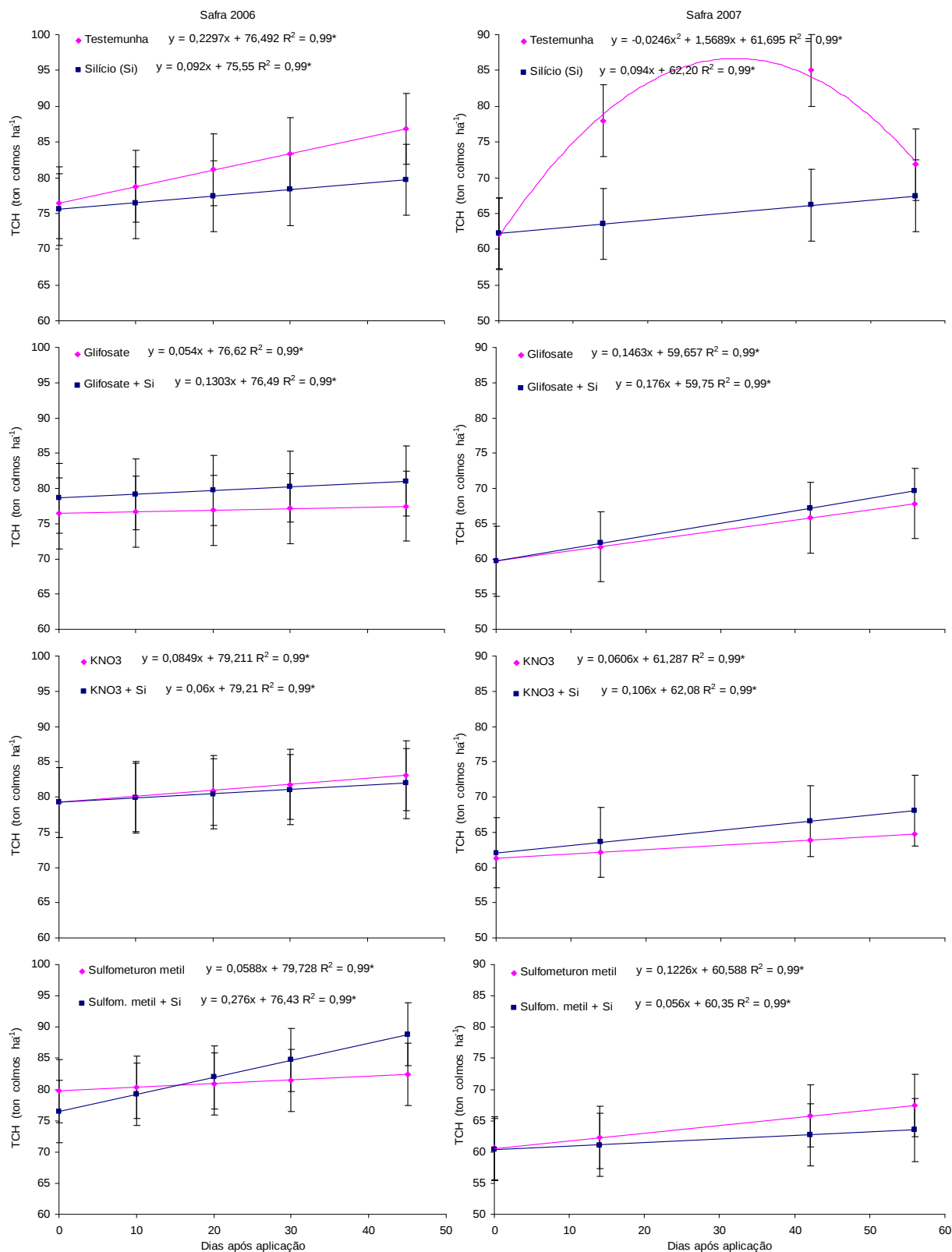


Figura 60. TCH (ton colmos ha⁻¹) da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarauçu do Tietê (SP), safra 2006 e 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.

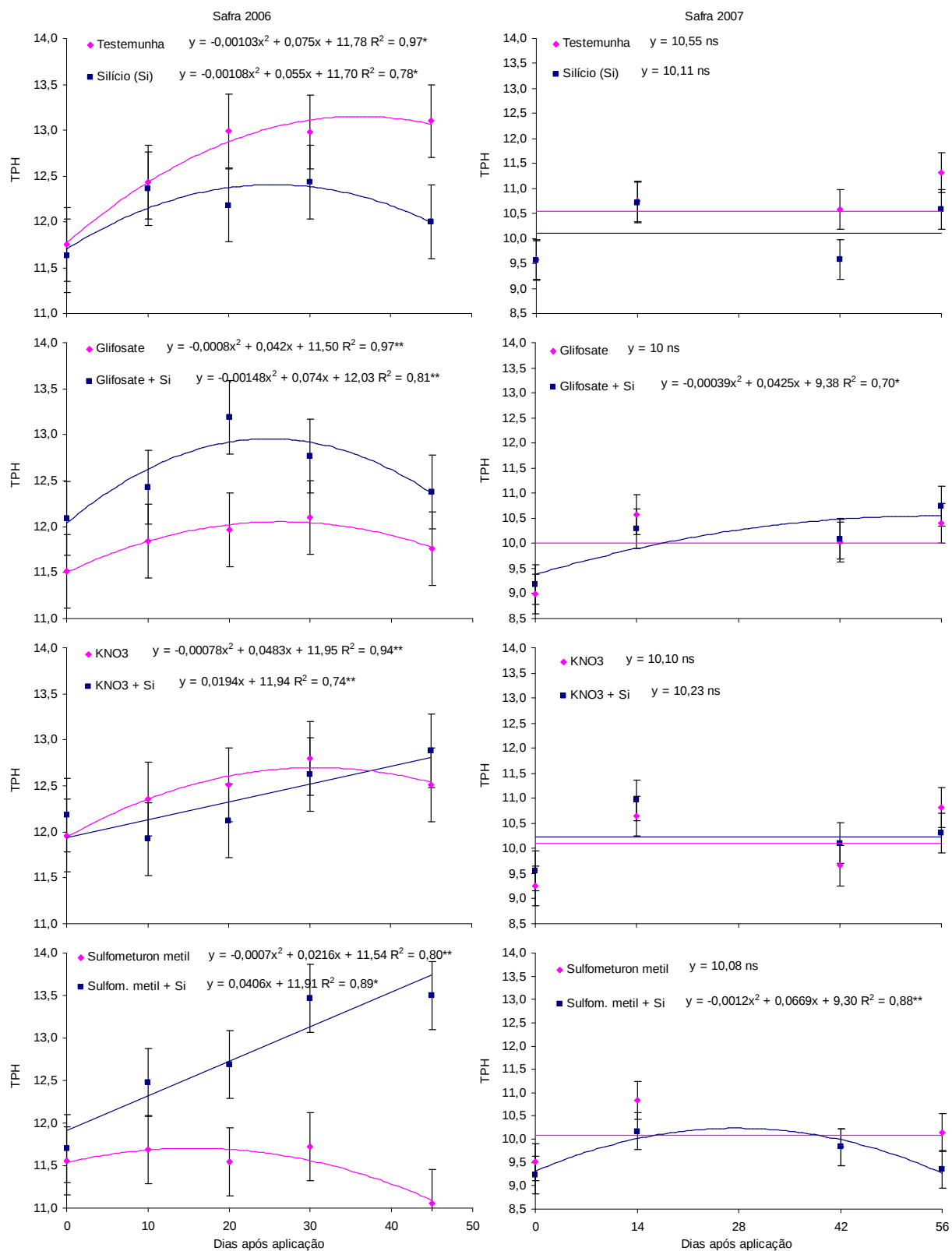


Figura 61. TPH (ton pol ha⁻¹) da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 em função da aplicação de maturadores associados ou não ao silício. Igarapu do Tietê (SP), safra 2006 e 2007. Barras verticais indicam diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 10 %.

6.2.2.8 Atividade das enzimas oxidativas peroxidase (POX), superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar

Nas Tabelas 22, 23 e 24 estão contidos os resultados referentes à determinação da atividade das enzimas peroxidase (POX), superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) nas folhas da cana-de-açúcar conforme os tratamentos adotados e as épocas de avaliação, não sendo constatado diferença significativa na instalação do experimento em ambas as safras. Todavia, com o transcorrer das épocas de amostragem é possível afirmar variação do nível enzimático com diferentes magnitudes em função dos distintos mecanismos de ação dos tratamentos aplicados.

Na safra 2006 a aplicação dos tratamentos KNO_3 aos 07 DAA, silício, Glifosate + Si, KNO_3 + Si e Sulfometuron metil + Si aos 14 DAA e Sulfometuron metil + Si aos 28 DAA induziram significativa elevação nos níveis da enzima POX, enquanto a adoção dos tratamentos Glifosate e Glifosate + Si, controle (maturação natural) e a aplicação isolada dos agentes químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil) e o controle (maturação natural) aos 07, 14 e 28 DAA, respectivamente, refletiram em menores valores de atividade para tal enzima, determinando-se para os demais tratamentos atividade intermediária (Tabela 22).

Na safra 2007 a aplicação dos tratamentos controle (maturação natural) aos 07 DAA e Sulfometuron metil + Si aos 28 DAA induziram níveis da enzima POX significativamente superiores em relação aos tratamentos Glifosate e Sulfometuron metil nas épocas de avaliação supracitadas, os quais ocasionaram reduzidos níveis de atividade, com os demais tratamentos apresentando padrão intermediário (Tabela 22).

Com relação à enzima superóxido dismutase (SOD), na safra 2006 houve efeito significativo dos tratamentos somente na última época de avaliação, isto é, aos 28 DAA, sendo determinado nas folhas das plantas submetidas à aplicação foliar de silício elevada atividade da SOD, enquanto para a aplicação do KNO_3 associado ao silício a atividade de tal enzima foi significativamente reduzida, com os demais tratamentos apresentando padrão intermediário. Na safra seguinte foram determinados altos níveis de SOD através do uso dos tratamentos Glifosate + Si aos 07 DAA, controle (maturação natural) aos 14 DAA e Sulfometuron metil + Si aos 28 DAA, sendo constatado efeito inverso para os tratamentos silício, Glifosate, Sulfometuron metil e Sulfometuron metil + Si aos 07 DAA, KNO_3 + Si aos

14 DAA e controle (maturação natural), silício e Glifosate + Si aos 28 DAA, constatando-se valores intermediários para os demais tratamentos (Tabela 23).

A atividade da enzima catalase (CAT) nas folhas das plantas sujeitas à aplicação foliar de silício e ao uso do agente químico KNO_3 + Si caracterizaram, respectivamente, maior e menor atividade enzimática aos 28 DAA na safra 2006, com os demais tratamentos revelando valores intermediários. Na safra subsequente os tratamentos Glifosate + Si aos 07 DAA, Glifosate aos 14 DAA e KNO_3 + Si aos 28 DAA induziram elevados níveis enzimáticos, diferindo dos tratamentos KNO_3 aos 07 DAA, controle (maturação natural), KNO_3 , Sulfometuron metil, KNO_3 + Si e Sulfometuron metil + Si aos 14 DAA e silício aos 28 DAA, os quais apresentaram padrão de atividade significativamente inferior, determinando-se para os demais tratamentos comportamento intermediário (Figura 24).

Um dos efeitos da acumulação de radicais livres de oxigênio em células vegetais sob estresse, por exemplo, estresse salino, provavelmente devido o declínio das atividades das enzimas superóxido dismutase e catalase (LIU et al., 1987; SINGHA & CHOUDHURI, 1990), é a peroxidação lipídica através da oxidação dos ácidos graxos insaturados da membrana levando ocasionando danos e vazamento dos eletrólitos (LIU et al., 1987; MARSCHNER, 1995). No entanto, para LIANG et al. (1996, 1999) o fornecimento de pequenas quantidades de silício solúvel às plantas poderia minimizar tal efeito, provavelmente por contribuir para a manutenção da permeabilidade da membrana plasmática das células das folhas decorrente do estímulo na atividade da SOD e melhoria significativa na estrutura dos cloroplastos.

Para HAISSIG (1986), as peroxidases podem afetar a formação de raízes através de sua influência sobre as auxinas (rizogênese via metabolismo do AIA), ligninas e metabolismo das antocianinas. As maiores atividades das peroxidases são observadas nas paredes celulares e a parede primária representa a matriz na qual ocorre a lignificação, catalisada pela enzima. As peroxidases funcionam como catalisadores na degradação do AIA e, este, age como repressor e indutor de peroxidases específicas. HAUSMAN (1993) sugeriram que o aumento da atividade das peroxidases e decréscimos do nível de AIA podem estar associados com as primeiras divisões celulares da organização e crescimento dos primórdios radiculares, corroborando com KLERK et al. (1990), os quais

sugeriram que a elevada atividade de peroxidases básicas está relacionada com a capacidade de divisão celular. Além disso, as peroxidases atuam na biossíntese do etileno, na lignificação, além da destruição das auxinas, devido ao fato dessas se apresentarem em muitas formas moleculares, participando de diferentes reações bioquímicas (DENCHEVA & KLISURKA, 1982; PASSARDI et al., 2005).

É importante ressaltar que as folhas de cana-de-açúcar (folha +3) amostradas para determinação nutricional e enzimática, possivelmente, sofreram a influência de diversos fatores bióticos e abióticos no período de condução do experimento, dentre os quais destacamos as condições climáticas (Figura 1) e a ocorrência da doença fúngica Ferrugem, cujo agente causador *Puccinia melanocephala*, aliado ao mecanismo de ação dos produtos químicos empregados, de tal forma que a variabilidade nos níveis enzimáticos mostrados nas Tabelas 22, 23 e 24 referentes às enzimas POX, SOD e CAT respectivamente, provavelmente refletem a resposta quanto a interação dos fatores supracitados.

O surto oxidativo com o aumento das EROs, segundo LAMB & DIXON (1997) e MEHDY et al. (1996), pode estar relacionado com a resposta de hipersensibilidade decorrente da interação patógeno/planta, com a conseqüente necrose das células próximas aos locais de entrada do patógeno na tentativa de isolar o mesmo num pequeno local, evitando assim a infecção sistêmica. Segundo CHERIF et al (1994) houve aumento na atividade das enzimas quitinase, peroxidase e polifenoloxidase, sendo mais intensa nas duas últimas, em plantas de pepino infectadas com *Pythum ssp.* cultivadas em solução nutritiva contendo 100 ppm de silício, sugerindo o envolvimento do elemento no metabolismo vegetal quando expostas a estresse biótico ou abiótico.

As EROs não estão apenas relacionadas com a morte celular programada, característica da resposta de hipersensibilidade, mas podem agir diretamente sobre o patógeno como sinalizador, juntamente com o ácido salicílico para a produção de proteínas de resistência, na ativação de genes de defesa no hospedeiro (planta), na ligação oxidativa de proteínas reforçando a parede celular e como sinalizadores na síntese de fitoalexinas. Para KWAK et al. (1996) a atividade da POX é aumentada freqüentemente em resposta a hormônios relacionados com o estresse, tais como o ácido abscísico e etileno e, da mesma forma, o Paraquat, herbicida gerador de estresse oxidativo, também induz este tipo de resposta.

IWASAKI et al. (2002) determinaram uma relação negativa e significativa entre a atividade da POX e da concentração de silício em folhas de feijão-caupi, isto é, o fornecimento de silício impediu o aumento na atividade da POX. Da mesma forma, tal relação foi demonstrada em outras espécies vegetais como cevada e arroz (HORIGUCHI & MORITA 1987b; HORIGUCHI, 1988), discordando parcialmente dos resultados obtidos quanto ao fornecimento foliar somente de silício, haja visto a elevação dos níveis da POX na safra 2008 (Tabela 9). Com base na observação de que a enzima peroxidase está localizada na parede celular, os autores supracitados especularam que silício pode desempenhar papel de proteção celular contra substâncias fenólicas produzidas em situações de estresse.

Em relação aos compostos fenólicos, apesar de serem sintetizados por rotas metabólicas secundárias de plantas, sua importância é fundamental para o metabolismo vegetal, sendo produzidos em células especializadas distribuídas pelos tecidos, ao acaso ou em locais estratégicos, estando o local de síntese associado ao retículo endoplasmático de modo que após a produção os fenóis são armazenados em vesículas, na sua forma original ou glicosilada, de modo que a compartimentalização é fundamental para o funcionamento das células. Os fenóis são tóxicos, tendo em vista que mantidos livres no citoplasma podem apresentar ação deletéria tanto sobre patógenos como sobre a própria célula vegetal, contribuindo para a reação de hipersensibilidade devido à oxidação pela ação das enzimas peroxidases (STRACK, 1997; BECKMAN, 2000).

Tabela 22. Atividade da enzima peroxidase (POX) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2006/2007.

Tratamentos	Peroxidase			
	μ moles de H_2O_2 consumidos g^{-1} de matéria fresca x minuto			
	Safr 2006			
	0 DAA ⁽¹⁾	07 DAA ⁽¹⁾	14 DAA ⁽¹⁾	28 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	1,48 a	2,15 cd	1,54 b	1,14 d
Silício (Si)	1,49 a	2,32 cd	1,71 a	2,02 c
Glifosate	1,41 a	1,56 d	1,36 b	2,30 bc
KNO ₃	1,44 a	3,56 a	1,10 b	2,03 c
Sulfometuron metil	1,46 a	2,65 bc	1,30 b	2,06 c
Glifosate + Si	1,39 a	1,61 d	0,95 a	2,71 abc
KNO ₃ + Si	1,46 a	3,34 ab	1,41 a	2,99 ab
Sulfom. metil + Si	1,45 a	3,27 ab	1,33 a	3,26 a
CV (%) = 19,47				
Tratamentos	Safr 2007			
	0 DAA ⁽¹⁾	07 DAA ⁽¹⁾	14 DAA ⁽¹⁾	28 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	1,79 a	3,48 a	2,98 a	3,10 ab
Silício (Si)	1,81 a	2,63 abc	2,98 a	2,38 bc
Glifosate	1,69 a	1,83 c	2,65 a	2,00 c
KNO ₃	1,71 a	3,28 ab	2,85 a	3,11 ab
Sulfometuron metil	1,78 a	2,30 c	2,46 a	1,67 c
Glifosate + Si	1,73 a	2,37 bc	3,18 a	3,08 ab
KNO ₃ + Si	1,77 a	2,70 abc	2,90 a	3,02 ab
Sulfom. metil + Si	1,80 a	2,43 bc	3,04 a	3,47 a
CV (%) = 17,45				

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 10% de probabilidade.

⁽¹⁾ Dias após a aplicação.

Tabela 23. Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao silício. Igaraçu do Tietê, SP, safras 2006/2007.

Tratamentos	Superóxido dismutase			
	unidades de atividade g ⁻¹ de matéria fresca x minuto			
	Safr 2006			
	0 DAA ⁽¹⁾	07 DAA ⁽¹⁾	14 DAA ⁽¹⁾	28 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	1,66 a	1,28 a	0,85 a	0,89 abc
Silício (Si)	1,62 a	1,14 a	0,73 a	1,25 a
Glifosate	1,70 a	1,22 a	0,74 a	1,00 ab
KNO ₃	1,65 a	1,09 a	0,71 a	0,98 ab
Sulfometuron metil	1,63 a	1,30 a	0,75 a	0,89 abc
Glifosate + Si	1,66 a	1,15 a	0,86 a	0,75 abc
KNO ₃ + Si	1,69 a	1,00 a	0,46 a	0,47 c
Sulfom. metil + Si	1,70 a	1,13 a	0,56 a	0,55 bc
CV (%) = 11,26				
Tratamentos	Safr 2007			
	0 DAA ⁽¹⁾	07 DAA ⁽¹⁾	14 DAA ⁽¹⁾	28 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	1,33 a	1,04 ab	1,35 a	0,83 c
Silício (Si)	1,35 a	0,83 b	0,97 bc	0,72 c
Glifosate	1,40 a	0,92 b	1,28 ab	0,99 bc
KNO ₃	1,38 a	0,99 ab	0,75 cd	1,26 ab
Sulfometuron metil	1,37 a	0,77 b	0,98 bc	1,27 ab
Glifosate + Si	1,34 a	1,30 a	0,96 bc	0,74 c
KNO ₃ + Si	1,36 a	1,07 ab	0,57 d	1,36 ab
Sulfom. metil + Si	1,40 a	0,86 b	0,80 cd	1,38 a
CV (%) = 12,58				

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 10% de probabilidade.

⁽¹⁾ Dias após a aplicação.

Tabela 24. Atividade da enzima catalase (CAT) em folhas (folha +3) de cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito dos maturadores, associados ou não ao silício. Igarapu do Tietê, SP, safras 2006/2007.

Tratamentos	Catalase			
	μ moles de H_2O_2 decomposto g^{-1} de matéria fresca x minuto			
	Safrá 2006			
	0 DAA ⁽¹⁾	07 DAA ⁽¹⁾	14 DAA ⁽¹⁾	28 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	708,95 a	693,11 a	640,50 ab	824,76 abc
Silício (Si)	707,45 a	648,19 a	565,61 a	1107,75 a
Glifosate	707,54 a	739,47 a	618,31 a	623,88 bcd
KNO ₃	707,23 a	770,60 a	531,19 a	987,82 ab
Sulfometuron metil	706,89 a	666,90 a	513,48 a	811,58 abcd
Glifosate + Si	706,99 a	980,81 a	724,62 a	519,63 cd
KNO ₃ + Si	708,77 a	749,93 a	526,01 a	405,25 d
Sulfom. metil + Si	708,01 a	852,25 a	399,77 a	470,40 cd
CV (%) = 22,05				
Tratamentos	Safrá 2007			
	0 DAA ⁽¹⁾	07 DAA ⁽¹⁾	14 DAA ⁽¹⁾	28 DAA ⁽¹⁾
Testemunha	611,56 a	505,62 ab	356,19 b	898,18 ab
Silício (Si)	610,11 a	901,93 ab	1615,44 ab	498,92 b
Glifosate	606,45 a	1379,05 ab	2842,22 a	592,49 ab
KNO ₃	600,09 a	194,42 b	639,00 b	555,09 ab
Sulfometuron metil	590,67 a	464,19 ab	510,19 b	646,47 ab
Glifosate + Si	595,32 a	1515,11 a	947,79 b	865,07 ab
KNO ₃ + Si	597,99 a	1113,24 ab	861,37 b	1786,12 a
Sulfom. metil + Si	599,71 a	722,35 ab	1612,26 ab	1549,50 ab
CV (%) = 22,91				

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 10% de probabilidade.

⁽¹⁾ Dias após a aplicação.

6.2.2.9 Rebrotas da soqueira e teores de antocianinas, carotenóides, clorofila (a+b) e compostos fenólicos totais

Na Tabela 25 estão contidos os resultados referentes à determinação da capacidade de rebrotas da soqueira da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 (maturação média-tardia) em função dos tratamentos adotados, sendo possível afirmar que, em ambas as safras, houve significativa influência dos agentes químicos, associados ou não ao silício, sobre tal parâmetro.

Na safra 2006 quantificou-se o maior número de brotos por metro através da aplicação foliar de silício, diferindo da associação do elemento com o agente químico KNO_3 e do uso isolado do maturador Sulfometuron metil, os quais, por sua vez, revelaram o menor valor para esta variável. Por outro lado, na safra subsequente, as plantas tratadas com o composto químico Glifosato apresentaram número de brotos por metro na rebrota estatisticamente inferior às plantas submetidas aos tratamentos controle (maturação natural), silício, KNO_3 , Glifosato + Si e Sulfometuron metil + Si, os quais estimularam positivamente a capacidade de rebrotas da soqueira (Tabela 25).

LEITE (2005) estudando o efeito da aplicação de maturadores com distintos mecanismos de ação em cana-de-açúcar, concluíram que a adoção desta ferramenta agrícola em 10/05/2004 não induziu consequências na rebrota da soqueira. Por outro lado, ROMERO et al. (1996), ROMERO et al. (1998a) e ROMERO et al. (2000) enfatizaram que doses de Glifosato variando entre 0,43 a 1,0 L p.c. ha^{-1} revelam efeito positivo sobre o processo de maturação, todavia podem ocasionar retardamento da brotação, além de afetar negativamente o desenvolvimento da soca posterior.

No momento da avaliação da capacidade de rebrotas da soqueira da cana-de-açúcar, aos 60 DAC, quantificou-se a presença de antocianinas, carotenóides, clorofila (a+b) e compostos fenólicos totais nas folhas, cujos resultados encontram-se na Tabela 26.

O conteúdo de antocianinas nas folhas das plantas da rebrota da soqueira sujeitas à aplicação de Glifosato associado ao silício e ao uso do Sulfometuron metil caracterizaram, respectivamente, maior e menor teor na safra 2006, com os demais tratamentos revelando valores intermediários. Por outro lado, na safra subsequente o emprego dos

tratamentos silício, Glifosate + Si, KNO_3 + Si e Sulfometuron metil + Si resultaram em conteúdo de antocianinas significativamente superior aos tratamentos controle (maturação natural), Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil (Tabela 26).

Com relação ao teor de carotenóides, na safra 2007 os tratamentos não afetaram o conteúdo de tal componente nas folhas da rebrota da soqueira. Todavia, na safra 2006 o emprego do Glifosate + Si induziu acréscimo no teor de carotenóides, diferindo dos tratamentos KNO_3 , Sulfometuron metil e KNO_3 + Si, que resultaram em valor significativamente inferior (Tabela 26).

A análise do teor de clorofila (a+b) nas folhas da rebrota da cana-de-açúcar no segundo ano de condução do experimento (safra 2007) possibilitou afirmar que a aplicação dos tratamentos controle (maturação natural), Silício e Sulfometuron metil + Si apresentaram valores estatisticamente superiores aos determinados para os tratamentos Glifosate, Sulfometuron metil, KNO_3 e Glifosate + Si. Por outro lado, no primeiro ano de condução do experimento (safra 2006) não houve efeito dos tratamentos sobre tal parâmetro fisiológico (Tabela 26).

Pelos resultados obtidos quanto ao teor de clorofila (a+b) nas folhas da rebrota da cana-de-açúcar (Tabela 26) é possível constatar provável correlação positiva entre o conteúdo de silício fornecido ao vegetal via foliar e o conteúdo deste pigmento fotossintético. Segundo WANG & GALLETA (1998) a aplicação foliar de Si incrementou o teor de clorofila e o conteúdo de ácidos orgânicos em contrapartida ao declínio do conteúdo de carboidratos solúveis em plantas de morango, bem como incrementou nos níveis de glicolipídios e fosfolipídios, podendo contribuir para a manutenção da permeabilidade da membrana, induzindo à expansão celular e favorecendo o crescimento da planta. Os glicolipídios são importantes componentes dos cloroplastos e podem estar envolvidos no transporte de carboidratos e na fotoredução dos citocromos, respectivamente (BENSON, 1964; CHANG & LUNDIN, 1965), enquanto os fosfolipídios desempenham função chave na organização molecular das membranas (SIMON, 1974).

Na safra 2007 os tratamentos adotados não influenciaram o conteúdo de fenóis totais nas folhas da rebrota da soqueira da cana-de-açúcar, enquanto na safra 2006 quantificou-se maior conteúdo de compostos fenólicos totais através da aplicação do composto químico KNO_3 , diferindo do tratamento controle (maturação natural), o qual apresentou menor

conteúdo de tais compostos, sendo determinado para os demais tratamentos teores intermediários (Tabela 26).

Os dados contidos na Tabela 26 revelam o provável efeito residual dos produtos químicos e os diferentes mecanismos de ação sobre alguns componentes fisiológicos da rebrota da soqueira da cana-de-açúcar.

Nesse contexto, diversos trabalhos têm relatado a rápida translocação do glifosato das folhas da planta tratada para as raízes, rizomas e meristemas apicais como uma das mais importantes características deste composto (FRANZ, 1985; GRUYS & SIKORSKI, 1999). O Glifosate refere-se ao agente químico inibidor da enzima enol-piruvil-chiquimato-fosfato-sintase [EPSPs, E.C. 2.5.1.19], a qual está presente na rota de síntese dos aminoácidos de cadeia aromática (fenilalanina, tirosina e triptofano). A inibição de sua atividade bloqueia a síntese destes aminoácidos nos vegetais, ocasionando a inibição da síntese protéica e outros compostos aromáticos e produtos secundários importantes como vitaminas, hormônios, clorofila, fitoalexinas, alcalóides, lignina e antocianinas, acumulando um composto intermediário chamado chiquimato. O efeito estressante causado pela fitotoxidez estimula a produção de etileno, hormônio vegetal capaz de inibir o metabolismo de fosfolipídeos, aumentar a permeabilidade da membrana, causar perda de clorofila, inibir a divisão e a expansão celular e reduzir a síntese de DNA. Por fim, as possíveis associações destes eventos metabólicos culminam na paralisação do desenvolvimento vegetal (RODRIGUES, 1995; RIZZARD et al., 2004; RODRIGUES & LEITE, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2004; LEITE, 2005; NETTO, 2006).

Diversos trabalhos relatam que a clorofila é altamente sensível ao agente químico Glifosate e que a natureza aclorofílica do crescimento subsequente é uma notável característica das plantas que são expostas à dose subletal do herbicida, corroborando com as avaliações visuais dos campos experimentais (WONG; 2000; SINGH, 2004).

Produtos que desencadeiam, direta ou indiretamente, a síntese endógena de etileno, por consequência são capazes de acelerar a degradação desta clorofila e a síntese de carotenóides (CASAS et al., 1989), corroborando com os dados obtidos e mostrados na Tabela 26 referentes ao uso do Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil, destacando-se o efeito protetor do silício foliar associado ao Sulfometuron metil quanto ao teor de clorofilas (a+b) na safra 2007.

O uso do KNO_3 como indutor do processo de maturação decorre da inibição temporária ou da redução do ritmo de crescimento vegetativo por ocasionar injúria (ou estresse) química estimulando a síntese endógena do hormônio vegetal etileno, tendo em vista que a produção deste pela planta é favorecida por diversos fatores, sejam eles bióticos, abióticos ou xenobióticos (HARO et al., 2001; RODRIGUES & LEITE, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2004; LEITE, 2005; LEITE et al., 2009c). Da mesma forma, tem sido relatado por diversos autores o efeito estressante causado pela fitotoxidez decorrente da aplicação do Sulfometuron metil, o que estimula a produção de etileno pela planta (RODRIGUES, 1995; RIZZARD et al., 2004; RODRIGUES & LEITE, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2004; LEITE, 2005).

O etileno é capaz de promover alterações bioquímicas e morfológicas nos vegetais, isto é, alterações na estrutura de microtúbulos, na orientação de microfibrilas e no metabolismo do DNA, induz o aumento nas quantidades de mRNAs, responsáveis por codificar e ativar enzimas pré-formadas como a celulase, hemicelulase e a poligacturonase, que degradam a parede celular modificando a permeabilidade da membrana e outras enzimas responsáveis pelo metabolismo de compostos fenólicos, como por exemplo a lignina (RODRIGUES, 1995; CASTRO et al., 2001; RODRIGUES & LEITE, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2004; LEITE, 2005; LEITE et al., 2009c).

Todavia, ressalta-se que associado aos tratamentos empregados, possivelmente outros fatores são capazes de afetar a produção de clorofila, antocianinas, e carotenóides (Tabela 19), dentre os quais a disponibilidade luminosa e de nitrogênio (MAGALHÃES, 1985; MENGEL & KIRBY, 1987; ENGEL & POGGIANI, 1991; CARELLI et al., 2006; GODOY et al., 2008).

Os compostos fenólicos são metabólicos secundários produzidos pelas plantas sem apresentarem função direta no seu crescimento e desenvolvimento, porém são fundamentais para o metabolismo vegetal (STRACK, 1997), cuja principal função está associada com a defesa vegetal contra fatores externos, bióticos e abióticos, pois se trata de um mecanismo de resistência bioquímico pré-formado pela planta (PASCHOLATI & LEITE, 1994), destacando-se dentro das classes mais importantes de compostos fenólicos a lignina, os flavonóides e os taninos (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Tabela 25. Rebrotos da soqueira da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito de maturadores, associados ou não ao silício. Igarapu do Tietê, SP, safras 2006/2007.

Tratamentos	Safra 2006	Safra 2007
	n° de brotos m ⁻¹	
	60 DAC ⁽¹⁾	
Testemunha	20,0 ab	21,0 a
Silício (Si)	20,0 ab	21,0 a
Glifosate	20,0 ab	19,0 b
KNO ₃	23,0 a	21,0 a
Sulfom. metil	19,0 b	20,0 ab
Glifosate + Si	21,0 ab	21,0 a
KNO ₃ + Si	19,0 b	20,0 ab
Sulfom. metil + Si	21,0 ab	21,0 a
CV (%)	5,12	3,93

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 10 % de probabilidade.

⁽¹⁾ Dias após a colheita.

Tabela 26. Antocianinas, carotenóides, clorofila (a+b) e fenóis totais nas folhas da soqueira (rebrotada) da cana-de-açúcar variedade SP80-3280 sob efeito de maturadores, associados ou não ao silício, aos 60 dias após a colheita (DAC). Igaraçu do Tietê, SP, safras 2006/2007.

	Antocianinas	Carotenóides	Clorofila (a + b)	Fenóis totais
	(µg g ⁻¹ matéria fresca)		(µg ácido gálico mg ⁻¹ matéria seca)	
Tratamentos	Safr 2006 – 60 DAC			
Testemunha	0,54 ab	0,17 ab	0,96 a	114,40 c
Silício (Si)	0,37 ab	0,16 ab	0,85 a	121,70 abc
Glifosate	0,35 ab	0,16 ab	0,86 a	125,70 abc
KNO ₃	0,31 ab	0,15 b	0,92 a	135,28 a
Sulfom. metil	0,20 b	0,14 b	0,98 a	129,90 abc
Glifosate + Si	0,70 a	0,20 a	0,86 a	133,00 ab
KNO ₃ + Si	0,34 ab	0,15 b	0,87 a	117,40 bc
Sulfom. metil + Si	0,51 ab	0,17 ab	0,77 a	126,45 abc
CV (%)	22,08	12,35	11,35	6,44
Tratamentos	Safr 2007 – 60 DAC			
Testemunha	0,10 b	0,13 a	0,57 a	116,25 a
Silício (Si)	0,19 a	0,09 a	1,03 a	116,60 a
Glifosate	0,12 b	0,12 a	0,79 b	120,35 a
KNO ₃	0,10 b	0,10 a	0,48 b	127,78 a
Sulfom. metil	0,19 b	0,09 a	0,44 b	109,38 a
Glifosate + Si	0,06 a	0,10 a	0,63 b	126,10 a
KNO ₃ + Si	0,20 a	0,13 a	0,88 ab	129,20 a
Sulfom. metil + Si	0,15 a	0,11 a	1,06 a	119,52 a
CV (%)	29,11	21,56	9,50 a	8,85

Médias seguidas de letras iguais, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10 % de probabilidade.

7. CONCLUSÕES

O estudo da aplicação foliar de boro, associado ou não a compostos químicos com diferentes mecanismos de ação (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), no início das safras 2007 e 2008, possibilitou as seguintes conclusões:

- a) O micronutriente isolado ou associado aos agentes químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil) induziu significativas alterações na atividade das invertases ácida e neutra, embora de forma e intensidades distintas conforme o mecanismo de ação dos compostos químicos, aliado às condições climáticas;
- b) A associação do boro com o Glifosate e o Sulfometuron metil elevou os níveis da invertase neutra no caldo do terço superior dos colmos;
- c) A aplicação de boro, isolado ou associado aos compostos químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), aumentou o teor do micronutriente nas folhas da cana-de-açúcar;
- d) O boro associado aos maturadores Glifosate e Sulfometuron metil possibilitou antecipação no corte da matéria-prima em relação à aplicação isolada de tais produtos químicos;

e) A aplicação de boro, isolado ou associado aos compostos químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), não influenciou a rebrota da soqueira;

f) O emprego isolado dos maturadores apresentou efeito significativo e positivo sobre a qualidade tecnológica da matéria-prima.

O estudo da aplicação foliar de silício, associado ou não a compostos químicos com diferentes mecanismos de ação (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), no início das safras 2007 e 2008, possibilitou as seguintes conclusões:

a) O silício isolado ou associado aos agentes químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil) induziu significativas alterações na atividade das invertases ácida e neutra, embora de forma e intensidades distintas conforme o mecanismo de ação dos compostos químicos, aliado às condições climáticas;

b) A associação do elemento com os produtos químicos Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil elevou os níveis da invertase neutra no caldo do terço superior dos colmos;

c) A aplicação do silício, isolado ou associado aos compostos químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), aumentou o teor do elemento nas folhas da cana-de-açúcar;

d) O silício associado aos maturadores Glifosate e Sulfometuron metil possibilitou antecipação no corte da matéria-prima em relação à aplicação isolada de tais produtos químicos;

e) A aplicação de silício, isolado ou associado aos compostos químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), não influenciou a rebrota da soqueira;

f) O emprego isolado dos maturadores apresentou efeito significativo e positivo sobre a qualidade tecnológica da matéria-prima.

O estudo da aplicação foliar de boro, associado ou não a compostos químicos com diferentes mecanismos de ação (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), no final das safras 2006 e 2007, possibilitou as seguintes conclusões:

a) O micronutriente isolado ou associado aos agentes químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil) induziu significativas alterações na atividade das invertases ácida e neutra, embora de forma e intensidades distintas conforme o mecanismo de ação dos compostos químicos, aliado às condições climáticas;

b) A aplicação de boro, isolado ou associado aos compostos químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), aumentou o teor do micronutriente nas folhas da cana-de-açúcar;

c) A associação do micronutriente com os agentes químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil) não afetou a produtividade de colmos;

d) O boro associado ao maturadores Glifosate e Sulfometuron metil permitiu explorar o potencial genético da variedade quanto ao acúmulo de sacarose nos colmos, implicando em melhoria na qualidade tecnológica da matéria-prima, com reflexos na produtividade de açúcar;

e) A aplicação de boro, isolado ou associado aos compostos químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), não influenciou a rebrota da soqueira;

f) A associação do micronutriente ao KNO_3 não trouxe benefícios significativos à cana-de-açúcar;

g) O emprego isolado dos maturadores apresentou efeito significativo e positivo sobre a qualidade tecnológica da matéria-prima.

O estudo da aplicação foliar de silício, associado ou não a compostos químicos com diferentes mecanismos de ação (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), no final das safras 2006 e 2007, possibilitou as seguintes conclusões:

a) O silício isolado ou associado aos agentes químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil) induziu significativas alterações na atividade das invertases ácida e neutra, embora de forma e intensidades distintas conforme o mecanismo de ação dos compostos químicos, aliado às condições climáticas;

b) A aplicação do silício, isolado ou associado aos compostos químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), aumentou o teor do elemento nas folhas da cana-de-açúcar;

c) O silício associado ao maturador Glifosate, Sulfometuron metil e KNO_3 permitiu explorar o potencial genético da variedade quanto ao acúmulo de sacarose nos colmos, implicando em melhoria na qualidade tecnológica da matéria-prima, com reflexos na produtividade de açúcar;

d) A aplicação de silício, isolado ou associado aos compostos químicos (Glifosate, KNO_3 e Sulfometuron metil), não influenciou a rebrota da soqueira;

e) O emprego isolado dos maturadores apresentou efeito significativo e positivo sobre a qualidade tecnológica da matéria-prima.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABELLES, F.B.; BILES, C.L. Characterization of peroxidases in lignifying peach fruit endocarp. **Plant Physiology**, v. 95, p. 269-273, 1991.

ABU-IRMAILEH, B.E.; JORDAN, L.S. Some aspects of glyphosate action in purple nutsedge (*Cyperus rotundus*). **Weed Science**, Champaign,. v. 26, n. 6, p. 700-703, 1978.

AGARIE, S.; HANAOKA, N.; UENO, N.; MIYAZAKI, A.; KUBOTA, F.; AGATA, W.; KAUFMAN, P.B. Effects of silicon on to tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa* L.) monitored by electrolite leakage. *Plant Prod. Sci.*, v.1, p.96-103, 1998.

AGARWALA, S.C.; SHARMA, P.N.; CHARTTEJEE, C. Development and enzymatic changes during pollen development in boron deficient maize plants. **J. of Plant Nutrition**, v.3, p.329-336, 1981.

AGUIRRE, A.C.P.; DANTAS, J.P.; MORAES, M.F.; AMORIM, H.V. Teor de carboidratos e atividade da polifenoloxidase e peroxidase em plantas de *Vigna sinensis* var. Pitiúba, cultivadas em soluções nutritivas de Hogland e Arnon completa e deficiente em boro. **O Solo**, v.69, n.2, p.45-49, 1977.

AGRIANUAL. **Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira**. Cana-de-açúcar. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2005. p. 261-277.

ALBERTSON, P.L.; PETERS, K.F.; GROF, C.P.L. An improved method for the measurement of the cell wall invertase activity in sugarcane tissue. **Aust. J. Plant Physiol.**, v.28, p.323-328, 2001.

ALEXANDER, A.G. Enzyme-sugar relationships in immature sugarcane treated with ascorbic acid, cysteine, hydroxylamine, cyanide, silicon, and iron. **J. Agr. Univ. P. R.**, v.51, n.1, p.46-54, 1967.

ALEXANDER, A.G. Effects of combined silicon and gibberellic acid on sugar and enzyme constituents of immature sugarcane grown in sand culture. **Proc. Int. Soc. Sugar Cane Tech.**, XIII Cong., 1968a.

ALEXANDER, A.G. Effects of foliar combinations of gibberellic acid and silicon on sucrose production by sugarcane. **J. Agr. Univ. P. R.**, v.52, n.3, p.218-226, 1968b.

ALEXANDER, A.G. **Sugarcane Physiology**. Amsterdam: Elsevier, 1973. 752p.

ALEXANDER, A.G.; ZAPATA, R.M.; KUMAR, A. Enzyme-silicon studies of gibberellic acid-treated sugarcane during the post growth-stimulatory phase. **J. Agr. Univ. P. R.**, v.54, n.1, p.82-95, 1970a.

ALEXANDER, A.G.; ZAPATA, R.M. Use of silicon to preserve sucrose in sugarcane desiccated with Paraquat and Diquat. **J. Agr. Univ. P. R.**, v.54, n.2, p.247-263, 1970b.

ALEXANDER, A.G.; ACIN-DIAZ, N.; MONTALVO-ZAPATA, R. Inversion control in sugarcane juice with sodium metasilicate. **Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol**, v. 14, p. 794-804, 1971.

ALLEN, R.D. Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. **Plant Physiology**, v.107, n.4, p.1049-1054, 1995.

ALMEIDA, J.C.V.; SANOMYA, R.; LEITE, C.F.; CASSINELLI, N.F. Eficiência agronômica de sulfometuron methyl como maturador na cultura da cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 21, n. 3, p. 36-37, 2003.

ALSCHER, R.G.; ERTURK, N.; HEATH, L.S. Role of superoxide dismutase (SODs) in controlling oxidative stress in plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 372, p. 1331-1341, 2002.

AMADO, D.F.; CARNEIRO, L.M.S.; OLIVEIRA, R.G.; RAMOS, H.F.; RAMOS, L.A.; PEREIRA, H.S.; OLIVEIRA, L.A.; LUZ, J.Q.M.; KORNDÖRFER, G.H.; NOLLA, A. Desenvolvimento da cultura de alface submetida a aplicação de fontes de silício. II SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA. Lavras, 2003. **Resumos expandidos**. Lages: UFLA, 2003. CD-Rom.

ANDERSON, D. L.; BOWEN, J. E. **Nutrição da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Potafós, 1992. 40 p.

ANDERSON, M.D.; PRASAD, T.K.; STEWART, C.R. Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotylus of maize seedlings. **Plant Physiology**, v.109, p.1247-1257, 1995.

ANDRADE, L.A. de B. Cultura da cana-de-açúcar. In: CARDOSO, M. das G. (Ed.). **Produção de aguardente de cana-de-açúcar**. 2.ed.rev. e amp. Lavras: UFLA, 2006. cap.1, p.25-67.

ANYANGWA, E.M.; KAPSEU, C.; ELEMVA; MUSONGE, P. The effect and removal of starch in the sugar refinig industry. **Int. Sugar Jnl**, v. 95, n. 1134, p. 210-213, 1993.

APEL, K. & HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Ann. Rev. Plant Biol.**, v.55, p.373-399, 2004.

ASAD, A.; BLAMEY, F. P. C.; EDWARDS, D. G. Boron nutrition of sunflower crops. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE GIRASSOL, 14., SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE A CULTURA DO GIRASSOL, 2., 2001, Rio Verde. **Resumos...** Rio Verde: FESURV/IAM, 2001. p.14-19.

ASADA, K. Ascorbate peroxidase: a hydrogen peroxidescavenging enzyme in plants. **Physiologia Plantarum**, v. 85, p. 235-241, 1992.

AZEVEDO, R.A.; ALAS, R.M.; SMITH, R.J.; LEA, P.J.; Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation in leaves and roots of wildtype and catalase deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum**, Oxford, v.104, p. 280-292, 1998.

BACCOUCH, S.; CHAOUI, E.L.; EL FERJANI, E. Nickel-induced oxidative damage antioxidant responses in *Zea mays* shoots. **Plant Physiology**, Rockville, v. 36, n. 9, p. 689-694, 2001.

BAEK K.H., SKINNER D.Z. Alteration of antioxidant enzyme gene expression during cold acclimation of near-isogenic wheat lines. **Plant Science**, v. 16, p. 1221-1227, 2003.

BALASTRA, M.L.F.; PEREZ, C.M.; JULIANO, B.O.; VILLREAL, P. Effects of sílica level on some properties of *Oriza sativa* straw and hult. **Canadian Journal Botanic**, v.67, p.2356-63, 1989.

BARBOSA, M.H.P. et al. Variedades melhoradas de cana-de-açúcar para Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v. 28, n. 239, p. 20-24, 2007.

BECKMAN, C. H. Phenolics-Storing cells: keys to programmed cell dead and periderm formation in disease resistance and in general defence responses in plants? **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 57, p. 101-110, 2000.

BENNETT, P.G.; MONTES, G. Effect of Glifosato formulation on sugarcane ripening. **Sugar J.**, v.66, n.1, p.22, 2003.

BENSON, A.A. Plant membrane lipids. **Annu. Rev. Plant Physiol.**, v.15, p.1-16, 1964.

BERNI, R.F.; PRABHU, A.S. Eficiência relativa de fontes de Si no controle de brusone nas folhas em arroz. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.38, n.2, p.195-201, 2003.

BOLOGNA, I. R.; COSTA, M.C.G.; VIEIRA, F.C.; VITTI, G.C. Aplicações foliares de Si no cultivo do tomate estaqueado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26. Lages, 2004. **Resumos expandidos**. Lages: SBCS/UDESC, 2004. CD-Rom.

BOOMINATHAN, R.; DORAN, P. Nickel-induced oxidative stress in roots of the nickel hyperaccumulator, *Alyssum beretolonii*. **New Phytol.**, n. 156, p. 205-215, 2002.

BOTHA, F.C.; BLACK, K.G. Sucrose phosphate synthase and sucrose synthase activity during maturation of internodal tissue in sugarcane. **Aust. J. Plant Physiol.**, v.27, n.1, p.81-85, 2000.

BOTELHO, D.M.S.; POZZA, E.A.; POZZA, A.A.A.; CARVALHO, J.G.; BOTELHO, C.E.; SOUZA, P.E. Efeito do silício na intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro. **II SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA**. Lavras, 2003. Lavras: UFLA, 2003. CD-Rom.

BRASIL DECRETO Nº 2954. Aprova o regulamento da lei nº 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. Normas jurídicas (Texto Integral) DEC 004954, 14 de jan., 2004, 27 p.

BOWLER, C.; VANCAMP, W.; VANMONTAGU, M.; INZE, D. Superoxidedismutase in plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.13, n.3, p.199-218, 1994.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Ann. Biochem.**, v.72, p. 248-254, 1976.

BROWN, P.H.; HU, H. Manejo do boro de acordo com sua mobilidade nas diferentes culturas. Piracicaba POTAFÓS. 1998. 4p. (POTAFÓS, **Informações Agronômicas**, 84).

BROWN, P.H.; HU, H. Boron uptake by sunflower, squash and cultured tobacco cells. **Plant Physiol.**, v.91, p.435-441, 1994.

BROWN, P.H.; HU, H. Phloem mobility of boron is species dependent: evidence for phloem mobility in sorbitol-rich species. **Ann. Bot.**, v.77, p.497-505, 1996.

BROWN, P.H.; HU, H. Does boron play only a structural role in the growing tissues of higher plants ? **Plant and Soil**, v.196, p.211-215, 1997.

BROWN, P.H.; HU, H. Phloem boron mobility in diverse plant species. **Bot. Acta**, v.111, p.331-335, 1998.

BROWN, P. H.; HU, H.; DANDEKAR, A. Transgenically enhanced sorbitol synthesis facilitates phloem boron transport and increases tolerance of tobacco to B deficiency. **Plant Physiology**, Rockville, v.119, p.17-20. 1999.

BROWN, P.H.; PICCHIONI, G.; JENKIN, M.; HU, H. Use of ICP-MS and ^{10}B to trace movement in plants and soil. **Commun. Soil Sci. Plant. Anal.**, v.23, p.2781-2787, 1992.

BROWN, P.H.; SHELPI, B.J. Boron mobility in plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.193, p. 85-101. 1997.

BRUINSMA, J. A comment on the spectrophotometric determination of chlorophyll. **Bioch. Biophys. Acta**, v.52, p.576-578, 1961.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F.; CASAGRANDE, J.C. Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B.van; ABREU, C.A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPQ; FAPESP; POTAFOS, 2001. cap.5, p. 89-117.

CARELLI, M.L.C.; FAHL, J.I. & RAMALHO, J.D.C. Aspects of nitrogen metabolism in coffee plants. **Braz. J. Plant. Physiol.**, n. 18, p. 9-21, 2006.

CARRILLO, N.; VALLE, E.M. El lado oscuro del oxígeno. **Revista de la Sociedad Argentina de Fisiología Vegetal**. Cordoba. v. 2, n. 2. Mar. 2005. Disponível em: <<http://www.safv.com.ar/Carrillo%200305.pdf>>. Acesso em: 5 Dez. 2005.

CASTRO, P.R.C. Aplicações da fisiologia vegetal no sistema de produção da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISILOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: STAB, 2000a. 9p.

CASTRO, P.R.C. Utilização de reguladores vegetais no sistema de produção da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISILOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: STAB, 2000b. 10p.

CARVALHO, L.C.C. Cana-de-açúcar, um mundo de oportunidades. **Atualidades Agrícolas**, abril, p.04-09, 2004.

CASAS, A.; LLACÉR, J. El color de los frutos cítricos. III. Modificación del color mediante tratamientos pre-recolección. **Revista de Agroquímica y Tecnología de alimentos**, Valencia, v.29, n.2, p. 173-190, 1989.

CASTRO, P.R.C. Efeitos da luminosidade e da temperatura na fotossíntese e produção e acúmulo de sacarose e amido na cana-de-açúcar. **STAB**, v.20, n.5, p.32-33, 2002.

CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A. (ed). **Ecofisiologia de culturas extrativas: cana-de-açúcar, seringueira, coqueiro, dendezeiro e oliveira**. Cosmópolis: Editora Stoller do Brasil. 138p. 2001.

CASTRO, P.R.C.; MIYASAKI, J.M.; BEMARDI, M.; MARENGO, D.; NOGUEIRA, M.C.S. Efeito do Etefon na maturação e produtividade da cana-de-açúcar. **Rev. Agric. (Piracicaba)**, v. 76, n. 2, p. 277-290, 2001.

CASTRO, P.R.C.; OLIVEIRA, D.A.; PANINI, E.L. Ação do sulfometuron metil como maturador da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 6., 1996, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB, 1996. p. 363-369.

CASTRO, P.R.C.; ZAMBON, S.; SANSÍDOLO, M.A.; BELTRAME, J.A.; NOGUEIRA, M.C.S. Ação comparada de Ethrel, Fuzilade e Glifosato, em duas épocas de aplicação, na maturação e produtividade da cana-de-açúcar, variedade SP 70-1143. **Rev. de Agric. (Piracicaba)**, v.77, n.1, p.23-38, 2002.

CAPUTO, M. M. et al. Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.1, p.15-23, 2008.

CAKMAK, I.; RÖMHELD, V. Boron deficiency-induced impairments os cellular functions in plants. **Plant Soil**, v.193, p.71-83, 1997.

CESAR, M.A.A.; MAZZARI, M.R. O teor de amido em função do estágio de maturação da cana. **Brasil Açucareiro**, n. 1, p. 54-67, 1972.

CHANG, S.B.; LUNDIN, K. Specificity of galactolipids in photochemical reactions coupled with cytochrome e reduction. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, v.21, p.424-431, 1965.

CHANCE, B., MAEHLY, A.C. Assay of catalase and peroxidases. **Methods Enzymol**, v.2. p. 764-775, 1955.

CHENG, B.T. Some significant functions of silicon to higher plants. **J. Plant Nutr.**, v.5, p.1345-1353, 1982.

CHERIF, M, J. G. MENZIES, D. L. EHRET, C. BOGDANOFF, AND R. R. BELANGER. Yield of cucumber infected with *Pythium aphanidermatum* when grown with soluble silicon. **HortScience.**, v. 29, n. 8, p. 896-897, 1994.

CLEMENTS, H.F. Effects of silicate on the growth and leaf freckle of sugarcane. **Proc. Int. Soc. Sugar Cane Tech.**, 12th Cong., p.225-226, 1965.

COLE, D. J. Mode of action of glyphosate – a literature analysis. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D. (Ed.). **The herbicide glyphosate**. Londres: Butterworths, p. 49-54, 1985.

COOPERATIVA DE PRODUTORES DE CANA, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO LTDA. Sexta geração de variedades de cana-de-açúcar Copersucar. **Bol. Téc. COPERSUCAR** – Edição Especial. Piracicaba, SP. 1997.

COSTA, J. M.; OLIVEIRA, E. F. **Fertilidade do solo e nutrição de plantas**. Campo Mourão: COAMO, 2001. p.42-43.

CUI XR, XING GS, LIU XM, XING GM & WANG YF. Effect of hydrogen peroxide on somatic embryogenesis of *Lycium barbarum* L.. **Plant Sci.**, v.146, p.9–16, 1999.

DAVIS, D.G., SWANSON, H.R. Activity of stress-related enzymes in the perennial weed leafy spurge (*Euphorbia esula* L.). **Environ. Exp. Bot.**, v.46, p.95-108, 2001.

DENCHEVA, A.; KLISURKA, D. Interaction between peroxidase and IAA-oxidase in the course of growth and differentiation of the plant cells. **Physiologie Végétale**, Paris, v. 20, n. 3, p. 385-394, 1982.

DEUBER, R. Maturação da cana-de-açúcar na região Sudeste do Brasil. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4, Piracicaba, 1988. **Anais**. Piracicaba: Copersucar, 1988. p.33-40.

DEREN, C.W.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; MARTIN, F.G. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. **Crop Science**, v.34, p.733-37, 1994.

DHINDSA, R.S.; MATAWE, W. Drought tolerance in two mosses correlated with difference against lipid peroxidation. **Journal of Experimental Botany**, v.32, p.19-21, 1981.

DILLEWIJN, C. **Botany of sugar cane**. Walthen: Chronica Botanica, 1952. p.136-141. 359p.

DORDAS, C.; BROWN, P.H. Permeability of boric acid across lipid bilayers and factors affecting it. **J. Membrane Biol.**, v.175, p.95-105, 2000.

DUGGER, W.M. **Boron in metabolism**. In: Encyclopedia of Plant Physiology. New York: SPRINGER-VERLAG, 1983. 626P.

DUTTA, T.R.; McILRATH, J. Effects of boron on growth and lignification in sunflower tissue and organ cultures. **Botanical Gazette**, v.125, p.89-96, 1964.

EDWARDS, E.A.; ENARD, C.; CRESSEIN, G.P.; MULLINEAUX, P.M. Synthesis and properties of glutathione reductase in stressed peas. **Planta**, n.192, p.137-143, 1994.

ELLIOTT, C.L. & SNYDER, G.H. Autoclave - induced digestion for the colorimetric
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPSO, 1997. 212p.

EMADIAN, S.F.; NEWTON, R.J. Growth enhancement of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seedlings by silicon. **J. Plant Physiol.**, v.134, p.98-103, 1989.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1999. 412 p.

ENGEL, V.L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 3, p. 39-45, 1991.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, USA, v.91, p.11-17, 1994.

EPSTEIN, E **Silicion Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. p. 641- 664, v. 50, 1999.

EPSTEIN, E. Silicon in plants: Facts vs. concepts. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. **Silicon in agriculture**. 2001.

FARIA, R.G.d. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. Lavras 2000, 47p. Dissertação (Mestrado – Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras.

FENG, et al. Effects of ligand and thyroid hormone receptor isoforms on hepatic gene expression profiles of thyroid hormone receptor knockout mice. **EMBO Rep**, v.4, n.6, Jun, p.581-7. 2003.

FERNANDES, A.C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. Piracicaba: STAB, 2003. 240p.

FERNANDES, A.C.; STUPIELLO, J.P.; UCHOA, P.E. de A. Utilização do Curavial para melhoria da qualidade da cana-de-açúcar. **STAB**, v.20, n.4, p.43-46, 2002.

FIGUEIREDO, P. Breve história da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agrônômico no seu estabelecimento no Brasil. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G. de A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 31-44.

FIGUEIREDO, E. A. P. Pecuária e Agroecologia no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 19, n. 2, p. 235-265, 2002. Disponível em: <http://atlas.sct.embrapa.br/pdf/cct/v19/cc19n2_04.pdf> Acesso em: 14 mar 2006.

FIGUERÊDO, S.F. Manejo de irrigação para a cultura da ervilha. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1999. 1p. (Embrapa-CPAC. Guia técnico do produtor rural, 49). **Disponível em:** <http://www.cpac.embrapa.br/guia49.htm>. Acesso em: 4 mar 2006.

FILHO, M.P.B.; PRABHU, A.S. Aplicação de silicato de cálcio na cultura do arroz. **Circular Técnica**, 51. EMBRAPA, 2002. 4p.

FLEMING, G. A. Essential micronutrients I: boron and molybdenum. In: DAVIES, B. E. (Ed.). **Applied soil trace elements**. New York: John Wiley and Sons, 1980. p.155-197.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox sensing and signalling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. **Physiologia Plantarum**, London, v. 119, p. 355-364, 2003.

FRANZ, J.E. Discovery, development and chemistry of glyphosate. In: GROSSBARD, E. & ATKINSON, D. (Ed.). **The herbicide glyphosate**. Chapter 1. London: Butterworths & Co. Ltda., 1985. p. 3-17.

FRY, S. C. Polymer-bound phenols as natural substrates of peroxidases. In: GREPPIN, H.; PENEL, C.; GASPAR, T. H. (Eds.). **Molecular and physiological aspects of plant peroxidases**. Switzerland: Université Genève, 1986. p. 169-182.

FUMIS, T.F.; BRASIL, O.G. Atividade da peroxidase em calos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp. var. NA56-79) in vitro. **Sci. Agric.**, v.52, n.1, p.161-163, 1995.

GALDIANO, C. **Qualidade da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) submetida a aplicação de maturadores químicos em final de safra.** 2008. 53 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal 2008.

GALLI, A.J.B. Roundup como maturador de cana-de-açúcar. A melhor opção para flexibilizar o manejo de corte. In: SEMINÁRIO ROUNDUP EFEITO MATURADOR, 1., 1993, Guarujá. **Anais...** Guarujá, 1993. p.18-23.

GANGOPADHYAY, G.; SANGITA, B.; MUKHERJEE, B.B.; GUPTA, S. Salinity-induced changes on peroxidases in *Nicotiana tabacum* (var. Jayasri) callus cultures. **Indian Journal Plant Physiology**, v.1, p.247-250, 1996

GASPAR, T. Integrated relationships of biochemical and physiological peroxidase activities. In: GREPPIN, H.; PENEL, C.; GASPAR, T. (Ed.) **Molecular and physiological aspects of plant peroxidases.** Geneve: University of Geneve, p. 455-468, 1986.

GASPAR, T.; PENEL, C.; CASTILLO, F.J.; GREPPIN, H.A. A two step control of basic and acid peroxidase and its significance for growth and development. **Physiologia Plantarum**, v.64, p.418-423, 1985.

GASPAR, T.; PENEL, C.L.; THORPE, T. **Peroxidases: a survey of their biochemical and physiological roles in higher plants.** Genève, Université de Genève, Centre de Botanique, 1982. 313p.

GAYLER, K.R.; GLASZIOU, K.T. Physiological functions of acid and neutral invertases in growth and sugar storage in sugar cane. **Physiol. Plant.**, v.27, p.25-31, 1972.

GIANNOPOLITIS, C.N.; RIES, S.K. Superoxide dismutases: I- Occurrence in higher plants. **Physiologia Plantarum**, v.59, p.309-314, 1977.

GIBEAUT, D.M. et al. Cell wall and enzyme changes during graviresponse of the leaf-sheath pulvinus of oat (*Avena sativa*). **Plant Physiol**, n.94, p.411-416, 1990.

GLASZIOU, K.T.; BULL, T.A. The relation between total invertase activity and internode expansion in sugarcane stalks. **Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.**, v.12, p.575-581, 1965.

GODOY, L.J.G.; SANTOS, T.S.; VILLAS BOAS, R.L.; JÚNIOR, J.B.L. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.32, p.217-226, 2008.

GOLDBERG, SABINE. Adsorption models incorporated into chemical equilibrium models. In: LOEPPERT, R.H.; SCHWAB, A.P.; GOLDBERG, S. (Ed.). **Chemical equilibrium and reaction models**. Madison: Soil Science Society of América, 1995. chap. 5, p. 75-95.

GOLDBACH, H.; AMBERGER, A. Influence of boron deficiency ^3H -indole-3yl-acetic acid uptake and efflux in cell culture of *Daucus carota* L. **Plant Growth Regulations**, v.4, p.81-86, 1986.

GOOR, B.J. Van.; LUNE, P. Van. Redistribution of potassium, boron, iron, magnesium and calcium in apples trees by an indirect method. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 48, p. 21-26, 1980.

GRATÃO, P.L.; POLLE, A.; LEA, P.J.; AZEVEDO, R.A. Making the life of heavy metalstressed plants a little easier. **Functional Plant Biology**, Collingwood, v. 32, n. 32, p. 481-494, 2005.

GRODEN, D.; BECK, E. H_2O_2 destruction by ascorbate-dependent systems from chloroplasts. **Biochemistry and Biophysical Acta**, v.54, p.426-435, 1979.

GRUYS, K.J.; SIKORSKI, A. Inhibitors of tryptophan, phenylalanine, and tyrosine biosynthesis as herbicides. In: SINGH, B.K. (Ed.). **Plant amino acids** - biochemistry and biotechnology. New York: Marcel Dekker, Inc., 1999. p. 357-365.

GUPTA, U. C. Boron nutrition of crops. **Advances in Agronomy**, New York, v. 31, p. 273-307, 1979.

GUPTA AS, HEINEN JL, HOLADAY AS, BURKE JJ, ALLEN RD. Increased resistance to oxidative stress in transgenic plants that overexpress chloroplastic Cu/Zn superoxide dismutase. **Proc Natl Acad Sci USA**, v.90: 1629-1933, 1993.

HALLIWELL, B., GUTTERIDGE, J.M.C. **Free radicals in Biology and Medicine**. 2nd ed. Oxford: Clarendon, 1989. 496 p.

HAMMERSCHMIDT, R.; KUC, J. Lignification as a mechanism for induced systemic resistance in cucumber. **Physiological Plant Pathology**, London, v. 20, p. 61-71, 1982.

HARKIM, J.M.; OBST, J.R. Lignification in trees. Indication of exclusive peroxidases participation. **Science**, v.180, p.296-298, 1973.

HARO, M.; MAFLA, H.; FORS, A.; MÁRQUEZ, C. Aplicación de madurantes en canteros con riesgo por cultivos colindantes. **Sugar J.**, v.64, n.5, p.12-21, 2001.

HAISSIG, B.E. **Metabolic processes in adventitious rooting of cuttings**. In: JACKSON, M.B. New root formation in plants and cuttings. Dordrecht, Martinus Nijhoff, p. 141-189, 1986.

HATCH, M.D.; GLASZIOU, K.T. Sugar accumulation cycle in sugarcane. II. Relationship of invertase activity to sugar content and growth rate in storage tissue of plant grown in controlled environments. **Plant Physiol**, v.38, p.344-348, 1963.

HATCH, M.D.; SACHER, J.A.; GLASZIOU, K.T. Sugar accumulation cycle in sugar cane. I. Studies on enzymes of the cycle. **Plant Physiol.**, v. 38, p. 348-354, 1963.

HAUSMAN, J.F. Changes in peroxidase activity, auxin level and level and ethylene production during root formation by poplar shoots raised in vitro. **Plant Growth Regulation** v.13, p.263- 268, 1993.

HAVIR, E.A.; MCHALE, N.A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Physiologia Plantarum**, v.84, p.450-455, 1987.

HIRAGA, S.; SASAKI, K.; ITO, H.; OHASHI, Y.; MATSUI, H. A large of family of class III plant peroxidases. **Plant and Cell Physiology**, v.2, n.5, p. 462-468, 2001.

HOAGLAND, R. E. Interaction of indoleacetic acid and glyphosate on phenolic metabolism in soybean. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 36, p. 68-75, 1990.

HORIGUCHI, T. Mechanism of manganese toxicity and tolerance of plants IV. Effects of silicon on alleviation of manganese toxicity of rice plants. **Soil Sci. Plant Nutr.**, v. 34, p. 65-73, 1988.

HORIGUCHI, T. AND S. MORITA. Mechanism of manganese toxicity and tolerance of plants VI. Effect of silicon on alleviation of manganese toxicity of barley. **J. Plant Nutr.**, 10: 2299-2310, 1987b.

HU, H.; BROWN, P.H. Localization of boron in cell walls of squash and tobacco and its association with pectin. Evidence for a structural role of boron in the cell wall. **Plant Physiol.**, v.105, p.681-689, 1994.

HU, H.; BROWN, P.H.; LABAVITCH, J.M. Species variability in boron requirement is correlated with cell wall pectin. **J. Exp. Bot.**, v.47, p.227-232, 1996.

HU, H.; PENN, S.G.; LEBRILLA, C.B.; BROWN, P.H. Isolation and characterisation of soluble B-complexes in higher plants. The mechanism os phloem mobility of boron. **Plant Physiol.**, v.113, p.649-655, 1997.

HULME, A.C. (Ed.). **The biochemistry of fruits and their products**. London: Academic Press, 1971.

IWASAKI, H.; NISHIWAKI, T; KITAYAMA, Y.; NAKAJIMA, M.; KONDO, T. KaiA-stimulated KaiC phosphorylation in circadian timing loops in cyanobacteria. **Proc Natl Acad Sci USA**, v. 99, p. 15788–15793, 2002.

JAWORSKI, E.G. Mode of action of N-phosphonomethylglycine: inhibition of aromatic amino acid biosynthesis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 20, n. 6, p. 1195-1198, 1972.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Physiologia Plantarum**, v.57, p.315-319, 1976.

KANNANGARA, C.G.; Biochemistry and molecular biology of chlorophyll synthesis. In: BOGORAD, L.; VASIL, I.K.; (ED.). **Cell culture and somatic cell genetics of plants**, n. 7, p. 301-322, p. 129-136, 2002.

KAWAMURA, Y.; HOU, X.-G.; SULTANA, F.; LIU, S.; YAMAMOTO, H; & EZAKI, T. Transfer of *Streptococcus adjacens* and *Streptococcus defectivus* to *Abiotrophia* gen. nov. as *Abiotrophia adiacens* comb. nov. and *Abiotrophia defectiva* comb. nov., respectively. **Int J Syst Bacteriol** , v. 45, p. 798-803, 1995.

KEREN, R.; BINGHAM, F. T.; RHOADS, J. D. Plant uptake of boron as affected by boron distribution between liquid and solid phases in soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 9, p. 297-302, 1985.

KLERK, G.J., SMULDERS, R., BENSCHOP, M. Basic peroxidases and rooting in microcuttings of *Malus*. **Acta Hort.** v.280, p.29-36, 1990.

KOBAYASHI, M.; MATOH, T. AZUMA, J-I. Two chains of rhamnogalacturonan II are cross-linked by borate-diol ester bonds in higher plant cell walls. **Plant Physiol.**, v.110, p.1017-1020, 1996.

KORICHEVA, J.; ROY, S.; VRANJIC, J.A.; HAUKIOJA, E.; HUGHES, P.R.; HANNINEN, O. Antioxidants responses to stimulated acid rain and heavy metal deposition in birch seedlings. **Environ Pollut**, v. 95, p. 249–258, 1997.

KORNDÖRFER, G. H.; BENEDITI, M.; PAULA, F.B.; CHAGAS, R.C.S. Cimento como fonte de silício para cana-de-açúcar. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.19, n.2, p. 30-32, 2000.

KORNDÖRFER, G.H.; COLOMBO, C.A.; RODRIGUES, L.L. Effect of thermophosphate as silicon source for sugarcane. Inter-American Sugar Cane Seminar. p.9-11, 1998a.

KORNDÖRFER, G.H.; CORRÊA, G.F.; SNYDER, G.H.; DATNOFF, L.E. Silicon availability in soil cultivated with upland rice in Brazil. Abstract. **Annual Meeting Soil Science Society of America**, p.18-22, 1998b.

KORNDÖRFER, G.H.; FARIA, R.J.; DATNOFF, L.F.; PEREIRA, L.E. Influencia do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico no solo. In: FERTBIO 2002a. Rio de Janeiro 2002a. **Anais...** Rio de Janeiro: CPGA-CS/UFRRJ, 2002a. 1 CD-ROOM.

KORNDÖRFER, G.H.; GASCHO, G.J. Avaliação de fontes de silício para o arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 23. Pelotas, 1999. **Anais...**, Pelotas, EMBRAPA Clima Temperado, 1999. P.313-316.

KORNDÖRFER, G.H.; SNYDER, G.H.; DATNOFF, L.E. Adubação do silício baseada na calibração da análise do solo e planta e dinâmica do elemento no solo. **Projeto de pesquisa- CAPES**, p.6-10, 1997.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. Papel do silício na produção de cana-de-açúcar. STAB, v.21, n.2, p.34-37, 2002.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura. Uberlândia: UFU/ICIAG, 2003. 23p. (GPSi-ICIAG-UFU. **Boletim técnico, 01**).

KIRKBY, E. A, ROMHELD, V. **Micronutrientes na fisiologia de plantas: Funções, absorção e mobilidade**. In: Versão em português do boletim técnico Micronutrients in plant physiology: functions, uptake and mobility, de E. A. Kirkby e V. Römheld, Proceedings 543, The International Fertiliser Society, P. O. Box 4, York, YO325YS, Reino Unido, 2007.

KUC, J.; PRESSIG, C. Fungal regulation of disease resistance mechanisms in plants. **Mycologia**, v. 76, p. 767-784, 1984.

KWAK, S.S.; KIM, S.K.; PARK, I.H.; LIU, J.R. Enhancement of peroxidase activity by stressrelated chemicals in sweet potato. **Phytochemistry**, Oxford, v. 43, n. 3, p. 565-568, Oct, 1996.

LAMB, C.; DIXON, R.A. The oxidative burst in plant disease resistance. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, v. 48. p. 251–275, 1997.

LANGE, A.; MARTINES, A.M.; SILVA, M.A.C.; SORREANO, M.C.M.; CABRAL, C.P.; MALAVOLTA, E. Efeito de deficiência de micronutrientes no estado nutricional da mamoeira cultivar Iris. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.40, n.1, p.61-67, 2005.

LEE, T. T. Effects of glyphosate on synthesis and degradation of chlorophyll in soybean and tobacco cells. **Weed Res.**, v. 21, n. 1, p. 161-164, 1981.

LEGENDRE, B.L. Ripening of sugarcane: effects of sunlight, temperature, and rainfall. **Crop Sci.**, v.15, p.349-352, 1975.

LEITE, V.M. **Absorção e translocação de B em cafeeiro**. Botucatu, SP. 2002. 99p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo).

LEITE, G.H.P. **Maturação induzida, alterações fisiológicas, produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)**. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura). Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2005. 141p.

LEITE, G.H.P.; CRUSCIOL, C.A.C. Reguladores vegetais no desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.43, n.8, p.995-1001, ago. 2008.

LEITE, G.H.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; LIMA, G.P.P.; SILVA, M.A. Reguladores vegetais e atividade de invertases em cana-de-açúcar em meio de safra. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.3, p.718-725, mai-jun, 2009.

LEITE, G.H.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; SILVA, M.A.; VENTURINI FILHO, W.G. Reguladores vegetais e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar em meio de safra. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v.32, n.6, p.1843-1850, nov./dez., 2008.

LEITE, G.H.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; SILVA, M.A.; VENTURINI FILHO, W.G. Maturadores e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar variedade RB855453 em início de safra. **Bragantia**, v.68, n.3, p.483-491, 2009a.

LEITE, G.H.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; SILVA, M.A.; VENTURINI FILHO, W.G. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores em meio de safra. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.2, p.423-433, 2009b.

LEITE, G.H.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; SILVA, M.A.; VENTURINI FILHO, W.G.; SURIANO, A. Qualidade tecnológica, produtividade e margem de contribuição agrícola da cana-de-açúcar em função da aplicação de reguladores vegetais no início da safra. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.3, p.726-732, mai-jun, 2009c.

LEME, P.H.M.V.GOUSSAIN, M.M. Efeito da aplicação de silício em plantas de trigo no desenvolvimento do pulgão-verde (*Schizaphis graminum*). **II SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA**. Lavras, 2003. Lavras: UFLA, 2003. CD-Rom.

LIANG, Y. Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. **Plant Soil**, The Hague, v. 209, p. 217-224, 1999.

LIANG, G.; WOLFGANG, C.D.; CHEN, B.P.C.; CHEN, T.H.; HAI, T. ATF3 gene. Genomic organization, promoter, and regulation. **J Biol Chem**, v. 271, p. 1695–1701, 1996.

LIMA, G.P.P.; FERNANDES, A.A.H.; CATÂNEO, A.C.; CEREDA, M.P.; BRASIL, O.G. Alterações na atividade da peroxidase e do conteúdo de carboidratos em mandioca cultivada in vitro sob estresse salino. **Sci. Agric.**, v.55, n.3, p.413-417, 1998.

LIMA, G.P.P.; BRASIL, O.G.; LOVEIRA, A.M. Poliaminas e atividade da peroxidase em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado sob estresse salino. **Sci. Agric.**, v.56, n.1, p.21-25, 1999.

LIMA FILHO, O.F.; GROTHEGE-LIMA, M.T.; TSAI, S.M. Efeito do silício na absorção de nitrogênio, fósforo e potássio em duas variedades de soja. **XXIX CONGRESSO**

BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2003. **Anais**. Ribeirão Preto-SP, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. CR-Rom.

LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: Packer, L.; Douce, R. Eds. **Methods in Enzimology**. Academic Press, London, UK, v. 148, 1987, pp. 350-381.

LINGLE, S.E. Seasonal internode development and sugar metabolism in sugarcane. **Crop Sci.**, v.37, p.1222-1227, 1997.

LINGLE, S.E. Sugar metabolism during growth and development in sugarcane internodes. **Crop Sci.**, v.39, p.480-486, 1999.

LINGLE, S.E.; IRVINE, J.E. Sucrose synthase and ripening in sugarcane. **Crop Sci.**, v.34, p.1279-1283, 1994.

LINGLE, S.E.; SMITH, R.C. Sucrose metabolism related to growth and ripening in sugarcane internodes. **Crop Sci.**, v.31, p.172-177, 1991.

LIU, T.N., MTIMKULUT, M.; GEIGERT, J.; WOLF, B.; NEIDLEMASN, L.; SILVA, D.; HUNTER-CEVERA, J. C. Isolation and characterization of a novel nonheme chloroperoxidase. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 142, p. 329-333., 1987.

LOESCHER, W.H.; EVERARD, J.D.; CANTINI, C.; GRUMET, R. **Sugar alcohol metabolism in source leaves**. In: MADORE, M.A.; LUCAS, W.J. (Ed.). Carbon partitioning and source-sink interactions in plants: current topics in plant physiology. Rockville: American Society of Plant Physiologists Series, 1995. v.13, p. 170-179.

LOOMIS, W.D.; DURST, R.W. Chemistry and biology of boron. **Biofactors**, v.3, p.229-239, 1992.

LOUÉ, A. **Oligo-éléments en agriculture**. Antibes: Nathan, 1993. 557p.

LU Z, Z.; NEUMANN, P.M. Water stress inhibits hydraulic conductance and leaf growth in rice seedlings but not transport of water via mercury sensitive water channels in the root. **Plant Physiology**, v. 120, p. 143-152, 1999.

LUX, A.; LUXOVÁ, M.; MORITA, S. et al. Endodermal silicification in developing seminal roots of lowland and upland cultivars of rice (*Oriza sativa* L.). **Canadian Journal of Botany**, v.77, p.955-960, 1999.

MACHADO, E.C. **Fisiologia de produção de cana-de-açúcar**. In: Cana-de-açúcar: cultivo e Comercialização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.56-79.

MAGALHÃES, J. R. **Nutrição e adubação da batata**. São Paulo: Nobel, 1985.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 1980. 215p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Aplicação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**: Potafós, 1997. 319 p.

MALLICK, N., MOHN, F.H. Reactive oxygen species: response of algal cells. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 157, n. 2, p. 183-193, Aug. 2000.

MARKHAM, K.R. Flavones, flavonols and their glycosides. Harborne JB, Dey PM editors. **Methods in Plant Biochemistry**, v. 1, London: Academic Press; 1989. p. 197–232.

MARSCHNER, H. Mineral **Nutrition of higher plants**. Londres: Academic Press, 1995. 889p.

MATOH, T.; KAWAGUCHI, S.; KOBAYASHI, M. Ubiquit of a borate-rhamnogalacturonan II complex in the cell walls of higher plants. **Plant Cell Physiol.**, v.37, p.636-640, 1996.

MATOH, T.; ISHIGAKI, K-I, MIZUTAMI, M. MATSUNAGA, W. TAKABE, K. Boron nutrition of cultured tobacco BY-2 cells I. Requirements for na intracellular localization of boron and selection of cells that tolerate low levels of boron. **Plant Physiol.**, v.33, p.1135-1141, 1992.

McKEAGUE, J.A.; CLINE, M.G. Silica in soil solution. II The adsorption of monosilicic acid by soil by other substances. **Canadian Journal Soil Science**, v. 43, n.1, p.83-95, 1963.

MCKERSIE, B.D. Oxidative stress. **Plant Stress**, 1996. Disponível em: <www.plantstress.com/Articles/Oxidative%20Stress.htm>. Acesso em: 8 Jun. 2004.

MEHDY, M.C.; SHARMA, Y.K.; KANAGASABAPATHI, S.; BAYS, N.W. The role of activated oxygen species in plant disease resistance. **Physiologia Plantarum**, v. 98, p. 365-374, 1996.

MENEZES-BENAVENTE, L., S.P. KERNODLE, M. MARGIS-PINHEIRO AND J.G. SCANDALIOS. Saltinduced antioxidant metabolism defenses in maize (*Zea mays* L.) seedlings. **Redox Repor.**, v.9, p.29-36, 2004.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.

MITTAL, R.; DUBEY, R.S. Behaviour of peroxidases in rice: changes in enzyme activity and isoforms in relation to salt tolerance. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.29, p.31-40, 1991.

MITTLER, R.; VANDERAUWERA, S.; GOLLERY, M.; VAN BREUSEGEN, F. Reactive oxygen gene network of plants. **TRENDS in Plant Science**, London, v. 9, n. 10, p. 490-498, Oct. 2004.

MORAES-DALLAQUA, M.A. **Alterações nos órgãos vegetativos do feijão (*Phaseollus vulgaris* L. cv. Carioca) causadas por diferentes níveis de boro na solução nutritiva**. Rio Claro, 1992. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas/Biologia Vegetal) – Instituto de Ciências de Rio Claro, universidade Estadual Paulista, São Paulo.

MORAES, L.A.C.; MORAES, V.H.F.; MOREIRA, A. Relação entre a flexibilidade do caule de seringueira e a carência de boro. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.37, n.10, p.1431-1436, 2002.

MORI-PINEDO, L.A.; PEREIRA-FILHO, M.; OLIVEIRA-PEREIRA, M.I. Substituição do fubá de milho (*Zea mays*, L.) por farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*, H.B.K.) em rações

para alevinos de tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818). **Acta Amazon.**, v. 29, n. 3, p. 447-453, 1999.

MOORE, P.H. Temporal and spatial regulation of sucrose accumulation in the sugarcane stem. **Aust. J. Plant Physiol.**, v.22, p.661-679, 1995.

MUSACCHI, S. Aspetti biochimici della disaffinità 'dnnesso. Dipartimento di Colture Arboree – Università di Bologna. **Rivista di Frutticoltura**, n.3, p.73-79, 1994.

MUTTON, M.J.R. **Efeitos da queima, manejo e armazenamento sobre as características tecnológicas dos colmos de cana-de-açúcar** (*Saccharum* spp.). 1984. 95 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal.

NELSON, N. A fotometric adaptation of somogyi method for determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**. v.153, p.375-380, 1944.

NETTO, J. M. Maturadores e reguladores vegetais na cultura da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. de. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 307-318.

OERTLI, J.J.; RICHARDSON, W.F. The mechanism of boron immobility in plants. **Plant Physiol.**, v.23, p.108-116, 1970.

OLIVEIRA, D.A. **Relatório de pesquisa com Sulfometurom Methil em ensaios preliminares**. Campinas, 1992. 23 p.

ONNA, K.M.; HASHIMOTO, W.K. Starch content of Hawaiian raw sugar. **Int. Sugar. Jnl.**, v. 95, n. 1139, p. 447-450, 1993.

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETTO, R.; CASAGRANDE, A.A. Cana-de-açúcar. In: FERREIRA, M.E., CRUZ, M.C.P., RAIJ, B. van, ABREU, C.A. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFÓS, 2001. p.355-373.

PASSARDI, F.; COSIO, C.; PENEL, C.; DUNAND, C. Peroxidase have more functions than a Swiss army knife. **Plant Cell Report**, Geneva, v. 24, p. 255-265, 2005.

PASCHOLATI, S. F.; LEITE, B. Mecanismos bioquímicos de resistência às doenças. **Rev. Anual de Patol. Plantas**, v. 2, p.1-49. 1994.

PAN, S.; YAU, Y. The isozymes of superoxide dismutase in rice. **Botanical Bulletin of Academia Sinica**, v.32, p.:253-258, 1991.

PANTASTICO, E. R. B. Postharvest physiology handling and utilization of tropical and subtropical fruits and vegetables. **West Port Avi**, 1975. 560p.

PARR, A.J.; LOUGHMAN, B.C. Boron and membrane function in plants. In: ROBB, D.A.; PIERPOINT, W.S. (Ed.). **Metals and micronutrients, uptake and utilization by plants**. London: Academic Press, 1983. P.87-107.

PARRY, D.W. & SMITHSON, F. Types of opaline silica depositions in the leaves of British grasses. **Ann. Bot.**, v. 28, p. 169-185, 1964.

PATRA, J.; PANDA, B.B. A comparison of biochemical responses to oxidative and metal stress in seedlings of barley, *Hordeum vulgare* L. **Environ Pollut**, v. 101, p. 99-105, 1998.

PENALOSA, J.M.; ZORNOZA, P.; CARPENA, O. Estudios de las deficiencias de boro y manganeso en plantas de tomate. **Anales de Edafologia y Agrobiologia**, v.56, p.749-758, 1987.

PEREIRA, H.S.; VITTI, G.C.; KORNDÖRFER, G.H. Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.27, p.101-108, 2003.

PILBEAN, D.J.; KIRKBY, E.A. The physiological role of boron in plants. **J. Plant Nutr.**, v.6, p.563-582, 1983.

PONTIN, J.C. Avaliação de maturadores vegetais na cana-de-açúcar. **Álcool e Açúcar**, n.77, p.16-18, 1995.

POZZA, A.A.A.; SOUZA, R.F.; ALVES, E.; POZZA, E.A.; CARVALHO, J.G.; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, P.T.G. Silício e o controle da cercosporiose em cafeeiro.

II SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA. Lavras, 2003. Lavras: UFLA, 2003. CD-Rom.

PULZ, A.L. **Estresse hídrico e adubação silicatada em batata (*Solanum tuberosum* L.) cv. BINTJE.** Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2007. 68p.

RAIJ, B.van; CAMARGO, O.A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, v.32, p.223-231, 1973.

RAIJ, B. Van, CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2 ed. Campinas: Instituto Agronômico & Fundação IAC, 1996. 285p.

RAMON, A.M.; CARPENA-RUIZ, R.O.; GARATE, A.; BEUSICHEN, M.L.van. The effects of short term deficiency of boron on potassium, calcium and magnesium distribution in leaves and roots of tomato plants. **Developments in Plant and Soil Science**, v.21, p.287-290, 1990.

RAO, K.V.M.; SRESTY, T.V.S. Antioxidative parameters in seedling of pidgeon pea (*Cajanus cajan* L.) Millspaugh to Zn and Ni stress. **Plant Science**, Clare, v. 157, n. 1, p. 113-128, 2000.

RAVEN, J.A. Short and long distance transport of boric acid in plants. **New Phytol.**, v.84, p.231-249, 1980.

RAVEN J,A. Cycling silicon-the role of accumulation in plant. **New Phytologist**, v.158. p.419-421, 2003.

RESENDE, M.L.V.; SALGADO, S.M.L. & CHAVES, Z.M. Espécies ativas de oxigênio na resposta de defesa de plantas a patógenos. **Fitopatologia Brasileira**, 28: 123-130, 2003.

RICARDO, C.P.P.; AP REES, T. Invertase activity during the development of carrot roots. **Phytoch**, v.9, p.239-247, 1970. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TH7-42HX8YN-9D&_user=687358&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000037899&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687358&md5=52ee203503585adb827b0cd87d7a66d8. Doi: 10.1016/S0031-9422(00)85130-4.

RICARDO, C.P.P.; D. SOVIA. Development of tuberous roots and sugar accumulation as related to invertase activity and mineral nutrition. **Planta**, v.118, p.43-55, 1974.

RIZZARDI, M. A.; VARGAS, L.; ROMAN, E. S.; KISSMAN, K. Aspectos gerais do controle de plantas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p. 105-144.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Campus de Botucatu – Botucatu, SP, 1995. Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/6301126/Canadeacucar-Ecofisiologia>>. Acesso em: 14 de junho 2009.

RODRIGUES, T.J.D.; LEITE, I.C. **Fisiologia vegetal: hormônios das plantas**. Jaboticabal: Funep, 2004. 78p.

ROITSCH, T.; GONZÁLEZ, M. C. Function and regulation of plant invertases: sweet sensations. **Trends Plant Sci**, v.9, n.12, 2004.

ROMERO,E.R.; SCANDALIARIS, J.; OLEA, I.; DIAZ, H.; SOTILLO, S.; DURÁN, A. La maduración en caña de azúcar. II. El glifosato como madurador químico. **Av. Agroind.**, v.17, n. 66, p. 14-18, 1996.

ROMERO,E.R.; SCANDALIARIS, J.; RUFINO, M. Respuesta de la caña de azúcar al madurativo glifosato. II. Otros efectos del madurador y recomendaciones de manejo. **Av. Agroind.**, v. 19, n. 5, p. 4-8, 1998a.

ROMERO, E.R.; SCANDALIARIS, J.; RUFINO, M.; DURÁN, A.; DIAZ, F. Respuesta de la caña de azúcar a la aplicación de glifosato como madurador. I. Efectos en la calidad fabril e influencia de los factores ambientales. **Avance Agroindustrial**, v.19, p.7-10, 1998b.

ROMERO,E.R.; SCANDALIARIS, J.; RUFINO, M.; DURÁN, A.; SOTOMAYOR, L.; QUIROGA, V.; MORALES, M. Actualización de las recomendaciones de manejo de glifosato como madurador de la caña de azúcar. **Av. Agroind**, v. 21, n. 22, p. 22-27, 2000.

ROMERO,E.R.; SOTOMAYOR, L.; TONATTO, J.; ALONSO, L.; SCANDALIARIS, J.; NEME, M.F.L. Maduración química de los cañaverales: criteios y recomendaciones para implementar un programa de manejo. **Av. Agroind.**, v. 24, n. 1, p. 10-14, 2003.

RÖMHELD, V. Aspectos fisiológicos dos sintomas de deficiência e toxicidade de micronutrientes e elementos tóxicos em plantas superiores. In: FERREIRA, M.E., CRUZ, M.C.P., RAIJ, B. van, ABREU, C.A. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFÓS, 2001. p.72-86.

ROSE, S.; BOTHA, F.C. Distribution patterns of neutral invertase and sugar content in sugarcane internodal tissues. **Plant Physiol. Biochem.**, v.38, p.819-824, 2000.

ROSSI, C.; LIMA, G.P.P. Cádmio e atividade da peroxidase durante a germinação de sementes de feijoeiro. **Sci. Agric.**, v.58, n.1, p.197-199, 2001.

ROUT, G.R.; SAMANTARY, P. Chromium, nickel and zinc tolerance in *Leucaena leucocephalla* (K8). **Silvae Genetica**, v.48, n.3, p.151-157, 1999.

SAMUELS, G.; ALEXANDER, G. Influence of variable manganese and silicon on the nutrition, sugar production, and enzyme activity of immature sugarcane. **J. Agr. Univ. P.R.**, v.53, n.1, p.14-27, 1969.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas de plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56p.

SAVANT, N.K.; KORNDÖRFER, G.H.; SNYDER, G.H.; DATNOFF, L.E. Silicon nutrition and sugarcane production: A review. **J. Plant Nutri.**, v.12, n.22, p.1853-1903, 1999.

SCANDALIOS, J.G. Oxygen stress and superoxide dismutase. **Plant Physiology**, Rockville, v.101, p.7-12, 1993.

SCANDALIOS, J. G. The rise of ROS. **TRENDS in Biochemical Sciences**, 9: 483-486, 2002.

SCANDALIOS, J. G. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, 38: 995-1014, 2005.

SCHMIDT, G. D., HOARD, D. W., SZKODY, P., MELIA, F., HONEYCUTT, R. K., & WAGNER, R. M. **ApJ**, v. 525, n. 407, 1999.

SHAH, KAVITA.; KUMAR, RITAMBHARA, R.G.; DUBEY, R. S. Effect of cadmium on lipid peroxidation, superoxide anion generation and activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. **Plant Science**, v.161, n. 6, p. 1135-1144, 2001.

SHARMA; RAMCHANDRA, T. Water relations and photosynthesis in mustard plants subjected to boron deficiency. **Indian Journal Plant Physiology**, v.33, p.150-154, 1990.

SHELP, B. L. Physiology and biochemistry of boron in plants. In: GUPTA, U. C. **Boron and its role in crop production**. Boca Raton: CRC Press, 1993. p. 53-85.

SHELP, B. J.; BROWN, P. H. Boron mobility in plants. **Physiology Plantarum**, Copenhagen, v.94, n.2, p.356-361, jun. 1995.

SEHMER, L.; DIZENGREMEL, P. Contribution to subcellular localization of superoxide dismutase isoforms of spruce needles and oak leaves. **Journal of Plant Physiology**, v.53, n.5-6, p.545-551, 1998.

SHETIYA, H.L.; DENDSAY, J.P.S.; DHAWAN, A.K. Internodal invertases and stalk maturity in sugarcane. **J. Agric. Sci.**, v.116, p.239-243, 1991.

SHORROCKS, V. M. The occurrence and correction of boron deficiency. In: DELL, B.; BROWN, P.H.; BELL, R.W. **Boron in soils and plants: Reviews**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1997. p. 121-148.

SHU,Z.H.; OBERLY,G.H.; CARY,E.E.; RUTZKE,M. Absorption and translocation of boron applied to aerial tissues of fruiting 'Reliance' peach trees. **Hortscience**. Alexandria, v. 29, n. 1, p. 25-7, 1994.

SIEGEL, B.Z. Plant peroxidases: an organismic perspective. **Plant Growth Regulation**, v.12, p.303-312, 1993.

SIMS, D.A.; GAMON, J.A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. **Remote Sensing of Environment**, v.81, p. 337-354, 2002.

SIMON, E.W. Phospholipids and plant membrane permeability. **New Phytol.**, v.73, p.377-420, 1974.

SINGH, M. Effects of plant spacing, fertilizer, modified urea material and irrigation regime on herbage, oil yield and oil quality of rosemary in semi-arid tropical conditions. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v.79, n.3, p.411-5, 2004.

SINGHA, S.; CHOUDHURI, M.A. Effect of salinity (NaCl) stress on H₂O₂ metabolism in *Vigna* and *Oryza* seedlings. **Biochem. Physiol. Pflanzen**, v. 186, p.69-74, 1990.

SINGLETON, V.L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTOS, R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and by means of Folin-ciocalteu reagent. **Methods Enzymol.**, v.299, p.152-178, 1999.

SIQUEIRA, G.F. de. **Eficácia da mistura de glifosato a outros maturadores na cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.)** Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura). Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2009. 101p.

SOEST, P.J. van. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. New York: Cornell University Press, 1994. 476p.

SOGA, K.; WAKABAYASHI, K. et al. Hypergravity increases the molecular mass of xyloglucans by decreasing xyloglucan-degrading activity in azuki bean epicotyls. **Plant Cell Physiol.**, v. 40, n. 6, p. 581-585, 1999.

SOMOGYI, M. A new reagent for the determination of sugars. **Journal of Biological Chemistry**. v.160, p.61-68, 1945.

STRACK, D. Phenolic metabolism, p.387-416. In P.M. Dey & J.B. Harborne (eds.), **Plant biochemistry**, London, Academic Press, 554p. 1997.

STUPIELLO, J.P. Alguns aspectos de qualidade da matéria- prima. **STAB**, v. 7, n. 3-5, p. 52-54, 1989.

SUBASHINI, K.; REDDY, G.M. Effect of salt stress on enzyme activities on callus culture of tolerant and susceptible rice cultivars. **Indian Journal of Experimental Biology**, v.28, p.277-279, 1990.

SUDHAKAR, C.; LAKSHMI, A.; GIRIDARAKUMAR, S. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. **Plant Science**, Strasbourg, v.161, p.613-619, 2001.

SUZUKI, J. **Biossíntese e acúmulo de sacarose em cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.): Influência do íon Potássio durante diferentes estádios de crescimento em solução nutritiva**. 1983. 96p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SYMONS, V.J. A review of information systems evaluation: content, context and process. **European Journal of Information Systems**, v. 1, n. 3, p. 205–212, 1991.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: SCIENCE OF THE RICE PLANT: Physiology. **Food and Agric. Policy Res. Center**, v.2, p.420-433, 1240p., 1996.

TANG, P.; FUENTE, R.K. The transport of indole-3-acetic acid in boron and calcium deficient sunflower hypocotyl segments. **Plant Physiology**, v.81, p.646-650, 1986.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. trad. Eliane Romato Santarém et. al.. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TERAUCHI, T.; MATSUOKA, M.; KOBAYASHI, M.; NAKANO, H. Activity of sucrose phosphate synthase in relation to sucrose concentration in sugarcane internodes. **Jpn. J. Trop. Agric.**, v.44, n.3, p.141-151, 2000.

TISDALE, S. L.; W. J. NELSON; J. D. BEATON. Soil Fertility and Fertilizers. **Macmillan Publishing Company**, New York, 1993.

VAN BREUSEGEM, F.; VRANOVA, E.; DAT, J. F.; INZE, D. The role of active oxygen species in plant signal transduction. **Plant Science**, New York, v. 161, p. 405-414, 2001.

VANCE, C.; KIRK, T. K.; SHERWOOD, R. T. Lignification as a mechanism of disease resistance. **Annual Review of Plant Pathology**, Palo Alto, v. 18, p. 259-288, 1980.

VENTER, H.A.; CURRIER, H.B. The effect of boron deficiency on callose formation and ^{14}C translocation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and cotton (*Gossypium hirsutum* L.) **American Journal of Botany**, v.64, p.861-865, 1977.

VENTURINI FILHO, W.G.; NOGUEIRA, A.M.P. **Aguardente de cana**. Apostila, 2005. Disponível em: <<http://dgta.fca.unesp.br/docentes/waldemar/aguardente/Aguardente.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2009.

VIATOR, B.J.; VIATOR, C.; JACKSON, W.; WAGUESPACK, H; RICHARD JR., E.P. Evaluation of potassium-based ripeners as an alternative to Glifosato and the effects of 2,4-D on herbicidal cane ripening. **Sugar J.**, v.66, n.1, p.21, 2003.

VIANA, R.S. et. al. Efeito da aplicação de maturadores químicos na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) variedade SP81-3250. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 65-71, 2008.

VIEIRA, I.M.S. **Efeito do Potássio sobre a atividade de invertases, teores de açúcares e compostos nitrogenados em cana-de-açúcar (*Saccharum* spp. var. NA56-79) cultivada em solução nutritiva**. 1983. 97f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

VIEIRA, I.M.S.; OLIVEIRA, E.T.; GALLO, L.A.; BATISTA, T.F.C.; RODRIGUES, R.C.; CROCOMO, O.J. Níveis de açúcares e atividade de invertases em cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). I. Cultivares NA56-79 e CB41-76. **Rev. Agric. (Piracicaba)**, v.71, n.1, p.67-92, 1996a.

VIEIRA, I.M.S.; OLIVEIRA, E.T.; GALLO, L.A.; BATISTA, T.F.C.; RODRIGUES, R.C.; CROCOMO, O.J. Níveis de açúcares e atividade de invertases em cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). II. Cultivares SP70-1143 e SP71-799. **Rev. Agric. (Piracicaba)**, v.71, n.2, p.197-224, 1996b.

VILLEGAS, F.T.; TORRES, J.S.A. Efecto del Roundup usado como madurante en la producción de canã de azúcar. **Int. Sugar J.**, v.95, n.1130, p.59-64, 1993.

VRANOVÁ, E.; INZÉ, D.; BREUSEGEM, F.V. Signail transduction during oxidative stress. **Journal of Experimental Botany**, v.53, n.372, p.1227-1236, 2002.

WANG, S.Y.; SUN, T.; WHITAKER, B.D.; FAUST, M. Effect of paclobutrazol on membrane lipids in apple seedlings. **Physiol. Plant.**, v.73, p.560-564, 1988.

WANG, S.Y.; GALLETA, G.J. Foliar application of potasssium silicate induces metabolic changes in strawberry plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.21, n.1, p.157-167, 1998.

WONG P.K. Effects of 2,4-D, glyphosate and paraquat on growth, photosynthesis and chlorophyll-a synthesis of *Scenedesmus quadricauda*. **Chemosphere**. v. 41, p. 77-82, 2000.

YAMADA, T. & CASTRO J. R. D. Potássio e Micro nutrientes na Cultura da Soja. Informe Agrônômico, nº 75. **Instituto da Potassa e do Fosfato (EUA)**, Instituto da Potassa e do Fosfato (Canadá), setembro, 1996.

YAMAUCHI, T.; HARA, T.; SONIDA, Y. Distribution of calcium and boron in the pectin fraction of tomato leaf cell wall. *Plant and Cell Physiology*, v.27, p.729-732, 1986.

YASSUDA, M. **Comportamento de fosfatos em solos de cerrado**. Piracicaba, 1989, 62 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’ – Universidade de São Paulo, 1989.

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. **Bulletin National Institute of Agriculture and Science**, v.15, p.1-58, 1975.

YOSHIDA, S., OHNISHI, Y., KITAGISHI, K. Role of silicon in rice nutrition. **Soil Plant Food**, v. 5, p. 127-33, 1959.

YU, Q.; RENGEL, Z. Micronutrient deficiency influences plant growth and activities of superoxide dismutases in narrow-leafed lupins. **Annals of Botany**, v. 83, p. 175-182, 1999.

ZABLOTOWICZ, R.M. & REDDY, K.N. Impact of glyphosate and *Bradyrhizobium japonicum* symbiosis with glyphosate-resistant transgenic soybean: a minireview. **Journal of Environmental Quality**, v. 33, p. 825-831, 2004.

ZHU, Y.J.; KOMOR, E.; MOORE, P.H. Sucrose accumulation in the sugarcane stem is regulated by the difference between the activities of soluble acid invertase and sucrose phosphate synthase. **Plant Physiol.**, v.115, p.609-616, 1997.