

JOSE GERARDO ESPINOZA VELIZ

**MATURADORES EM CANA-DE-AÇÚCAR: QUALIDADE DA MATERIA-PRIMA,
PODER CALORÍFICO DA PALHA E RESIDUAL NA CULTURA**

BOTUCATU

2017

JOSE GERARDO ESPINOZA VELIZ

**MATURADORES EM CANA-DE-AÇÚCAR: QUALIDADE DA MATERIA-PRIMA,
PODER CALORÍFICO DA PALHA E RESIDUAL NA CULTURA**

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

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Almeida
Silva

BOTUCATU

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

E77m Espinoza Veliz, Jose Gerardo, 1977-
Maturadores em cana-de-açúcar: qualidade da matéria-prima, poder calorífico da palha e residual na cultura / Jose Gerardo Espinoza Veliz. - Botucatu: [s.n.], 2017
208 p.: il., color., grafs., tabs.

Tese(Doutorado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017
Orientador: Marcelo de Almeida Silva
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar - Cultivo. 2. Maturação. 3. Glifosato. I. Silva, Marcelo de Almeida. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III Título.

Elaborada por Maria Lúcia Martins Frederico - CRB-8:5255

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "MATURADORES EM CANA-DE-AÇÚCAR: QUALIDADE DA MATÉRIA-PRIMA, PODER CALORÍFICO DA PALHA E RESIDUAL NA CULTURA"

AUTOR: JOSÉ GERARDO ESPINOSA VÉLIZ

ORIENTADOR: MARCELO DE ALMEIDA SILVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



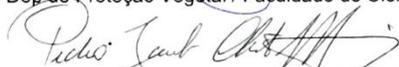
Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA
Depo de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP



Prof. Dr. CAIO ANTONIO CARBONARI
Dep de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu



Prof. Dr. CARLOS GILBERTO RAETANO
Dep de Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu



PROF. DR. PEDRO JACOB CHRISTOFFOLETI
Departamento de Produção Vegetal / ESALQ / USP - Piracicaba, SP



Pesquisador Dr. HENRIQUE COUTINHO JUNQUEIRA FRANCO
Centro Nacional de Pesquisas em Energia e Matérias / CNPEM - Campinas/SP

Botucatu, 20 de fevereiro de 2017.

DEDICATÓRIA

A Deus pela sabedoria, proteção e infinitas bênçãos em minha vida.

À minha esposa Lilian Marleni Alarcón, pela paciência e apoio em todos os momentos para vencer os obstáculos que se apresentaram durante nossa luta.

Aos meus filhos: Eduardo José († in memoriam), Maria Camila e Lilian Stephany, minhas maiores alegrias e incentivo para vencer os desafios que apareceram em minha vida.

Aos meus pais: María Audelia Véliz e Carlos Yoj, pelos sábios conselhos e apoio.

Aos meus irmãos pela ajuda: David, Uriel Alfredo, Vinício, Francis e Juan Carlos, muito obrigado.

AGRADECIMENTOS

A DEUS pela bela oportunidade de vida.

A CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación e Capacitación de la Cana de Azúcar), pelo apoio e por liberar-me para realização do Doutorado.

Ao Professor Dr. Marcelo de Almeida Silva, pela orientação deste estudo e sua amizade.

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol, pelo apoio incondicional e amizade.

Ao Dr. Mario Melgar, Diretor executivo de CENGICAÑA, pelo apoio na realização do Doutorado.

À AUIP (Asociación de Universidades Iberoamericanas de Posgrado) pela concessão da bolsa de estudos de Doutorado.

À FCA – UNESP Campus de Botucatu e, especialmente, ao Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, pela oportunidade da realização do Doutorado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro, concedido através de Auxílio à Pesquisa (Proc. 2014/22585-3).

Ao GRUPO RAIZEN/Unidade Barra Bonita, pela disponibilidade da área e suporte para realização do experimento, especialmente ao grupo de trabalho da fazenda Bosque, em especial ao Sr. Sebastião Santos Ribeiro e Adauto Aparecido Biega, pelo apoio durante o desenvolvimento do trabalho.

À família Pacheco e grupo ENLASA, pelo apoio e suporte na realização do Doutorado.

À Universidade da Flórida (EREC/Everglades Research & Education Center), pela oportunidade e suporte para realização do estágio no centro experimental.

Ao Dr. Maninder Singh e Stephen Raid, pela oportunidade, colaboração e ensinamentos em fisiologia de cana-de-açúcar durante o estágio no exterior e, acima de tudo, pela amizade.

À Dra. Gabriela Siqueira Ferraz, pela revisão do português deste estudo e pelas caronas, muito obrigado.

Ao grupo de orientados e estagiários do Laboratório de Ecofisiologia Aplicada à Agricultura (LECA): Marcela Brunelli, Leandro Bianchi e Gabriel Germino, muito obrigado pela ajuda.

Às Famílias Ferrari, Georgetti e Mori pela bela amizade e apoio incondicional, muito obrigado.

Aos meus amigos “Zombeteiros-Stop” André Georgetti, Jayme Ferrari, Jader, Maurício Mancuso, Brunão, Claudio, simplesmente posso dizer muito obrigado por tudo.

Aos meus amigos da Salinha da PG: Daniele, Jorge Martinelli, Ariani, Sueko, Letusa, Murilo, obrigado pelo companheirismo.

Ao pessoal de NUPAM, Saulito (Plinio Saulo Simões), Renan Nascente, Gordinho, Gaby, Beto, China e especialmente aos professores Edivaldo Velini e Caio Carbonari. Agradeço infinitamente a Thiago Gianeti pela ajuda nas análises e ensinamento de uso do NIR, e a Iara Brito pela ajuda nas análises enzimáticas, muito obrigado.

A todos aqueles que, de alguma maneira, contribuíram na realização deste trabalho.

RESUMO

A cana-de-açúcar é uma cultura de grande importância econômica no Brasil, tanto pela produção de açúcar e etanol quanto pela produção de diversos subprodutos. Nas diferentes fases fenológicas da cultura, a fase de maturação é de alta importância em variedades de maturação precoce no início da safra, onde a cultura depende das condições climáticas, podendo, em condições desfavoráveis, proporcionar baixo teor de açúcar, acarretando em prejuízos quantitativos e qualitativos da matéria-prima. Deste modo, o uso de maturadores torna-se estratégia fundamental de manejo para atingir rendimentos satisfatórios. No presente estudo, objetivou-se avaliar a eficácia de maturadores na qualidade tecnológica, bioenergética, enzimática e fisiológica, além dos efeitos residuais na planta e soqueira. O estudo foi realizado com a variedade RB966928 (precoce), em cana-planta (2014/2015) e cana-soca (2015/2016), em Igarapé do Tietê-SP. Os tratamentos foram os seguintes: glifosato, nas doses de 0,35; 0,45; 0,50 e 1,00 L ha⁻¹ de produto comercial (PC) (0,126; 0,162; 0,240 e 0,480 kg de equivalente ácido (ea), respectivamente); trinexapaque-etílico, nas doses de 0,60; 0,80; 1,00 e 1,20 L ha⁻¹ de PC, equivalente a 0,150; 0,200; 0,250 e 0,300 L i.a., respectivamente; sulfometurom-metílico, na dose de 0,02 kg ha⁻¹ de PC ou 0,015 kg de i.a.; e testemunha sem aplicação de maturadores. Os tratamentos foram aplicados 60, 45, 30 e 15 dias antes da colheita (DAC), no período de março a maio (safra 2014/2015). Os resultados em pré-colheita permitiram concluir que, independente do maturador e da dose, todos alteraram a qualidade da matéria-prima, em que quanto maior DAC maior o acúmulo de sacarose. O glifosato elevou o teor de sacarose à medida que aumentou a dose e DAC, prejudicando a produtividade de colmos (TCH), de pol (TPH) e de açúcar (TAH) em cana-planta. O glifosato a 0,35 L ha⁻¹ não prejudicou a TCH em função de DAC, e aumentou TPH e TAH, aos 45 DAC. No entanto, houve efeito residual do maturador aplicado em cana-planta para doses acima de 0,50 L ha⁻¹ para cana-soca, prejudicando clorofila, crescimento da planta, porém aumentando o poder calorífico do palhiço. Trinexapaque-etílico melhorou a qualidade da matéria-prima à medida que se aumentou a dose e DAC, o que reduziu a altura das plantas, mas sem reduzir TCH em cana-planta. No entanto, o incremento da sacarose foi comprometido pela redução de TCH acima de 45 DAC. Em cana-planta, com trinexapaque-etílico em doses abaixo de 1,0 L ha⁻¹ aos 60 DAC, houve

um aumento de TPH e TAH, conteúdo de clorofila, número e altura de perfilhos. Os resíduos de trinexapaque-etílico em doses acima de $1,00 \text{ L ha}^{-1}$, aplicadas em cana-planta aos 15 DAC, reduziram a TCH em cana-soca. Os maturadores, em doses recomendadas, aumentaram o teor de sacarose à medida que incrementaram os DAC, com maior magnitude para glifosato a $0,45 \text{ L}$, seguido de sulfometurom-metílico a $0,02 \text{ kg}$ e trinexapaque-etílico a $0,80 \text{ L ha}^{-1}$. O glifosato prejudicou a produtividade de cana e açúcar, tanto em cana-planta quanto em cana-soca. O sulfometurom-metílico a $0,02 \text{ kg}$ e trinexapaque-etílico a $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ aumentaram a TPH e TAH até aos 60 DAC. O sulfometurom-metílico a $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ manteve os níveis de clorofila, aumentou o poder calorífico do palhço e não prejudicou a altura e número de perfilhos. Em geral, no ponteiro da planta, houve maior concentração de resíduos dos maturadores entre 15 a 45 DAA, assim como na rebrota. Na rebrota, o trinexapaque-etílico a $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ e sulfometurom-metílico a $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ alteraram os componentes lignocelulósicos, assim como a atividade da enzima invertase ácida (SAI), invertase neutra (NI), sacarose fosfato sintase (SPS) e sacarose sintase (SuSy) a os 15 e 60 DAA. Todos os tratamentos incrementaram o conteúdo de sacarose quando aplicados com mais DAC. No entanto, o glifosato provocou dano em cana-planta e cana-soca pelo efeito residual. A dose de glifosato a $0,35 \text{ L ha}^{-1}$ apresentou maior rendimento de açúcar (TAH) aos 45 DAC, trinexapaque-etílico e sulfometurom-metílico nas doses de $0,60$ a $1,00 \text{ L ha}^{-1}$ e $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente, apresentaram os melhores rendimentos de açúcar sem provocar redução do peso dos colmos.

Palavras chave: glifosato, maturação, *Saccharum* spp., sacarose, sulfometurom-metílico, trinexapaque-etílico.

ABSTRACT

Sugarcane is a crop of great economic importance in Brazil, both for the production of sugar and ethanol and for the production of various by-products. In the different phenological stages of the crop, the maturation stage is of high importance in early maturing varieties at the beginning of the harvest, where the crop depends on the climatic conditions, and can under favorable conditions, provide low sugar content, leading to quantitative losses and quality of the raw material. In this way, the use of ripeners becomes a fundamental management strategy to achieve satisfactory yields. In the present study, the objective of this study was to evaluate the efficacy of ripeners in the technological, bioenergetic, enzymatic and physiological quality, as well as the residual effects on plant and ratoon. The study was carried out with the variety RB966928 (early), in sugarcane cane-plant (2014/2015) and sugarcane ratoon-cane (2015/2016), in Igarapu do Tietê-SP. Treatments were as follows: glyphosate at the doses of 0.35; 0.45; 0.50 and 1.00 L ha⁻¹ of commercial product (PC) (0.126, 0.162, 0.240 and 0.480 kg of acid equivalent (ea), respectively); trinexapac-ethyl, at doses of 0.60; 0.80; 1.00 and 1.20 L ha⁻¹ of PC, equivalent to 0.150; 0.200; 0.250 and 0.300 L i.a., respectively; sulfometurom-methyl, at a dose of 0.02 kg ha⁻¹ PC or 0.015 kg a.i. and control without application of maturators. The treatments were applied at 60, 45, 30 and 15 days before harvest (DBH), from March to May (harvest 2014/2015). The pre-harvest results allowed us to conclude that, regardless of the ripener and the dose, all of them altered the quality of the raw material, where the higher DBH provided greater accumulation of sucrose. Glyphosate increased the sucrose content as the dose increased, impairing stem yield (TCH), pol (TPH) and sugar per ha (TAH) in sugarcane. Glyphosate at 0.35 L ha⁻¹ did not impair TCH by DBH, and increased TPH and TAH at 45 DBH. However, there was a residual effect of the ripener applied on cane plant at doses above 0.50 L ha⁻¹ for ratoon cane, damaging chlorophyll, plant growth, but increasing the calorific value of the straw. Trinexapac-ethyl improved the quality of the raw material as the dose and DBH increased, which reduced plant height, but without reducing TCH in cane plant. However, the increment of sucrose was compromised by the reduction of TCH above 45 DAC. In plant cane, with trinexapac-ethyl in low doses at 1.0 L ha⁻¹ at 60 DBH, there was an increase of TPH and TAH, chlorophyll content, number and height of tillers. The trinexapac-ethyl residues above 1.00 L ha⁻¹, applied in cane plant at 15 DBH, reduced TCH in ratoon cane. The

ripeners, at recommended doses, increased the sucrose content as they increased DBH, with a higher magnitude for glyphosate at 0.45 L, followed by sulfometurom-methyl at 0.02 kg and trinexapac-ethyl at 0.80 L ha⁻¹. Glyphosate impaired sugarcane and sugar yields, both in sugarcane and in sugar. Sulfometurom-methyl at 0.02 kg and trinexapac-ethyl at 0.80 L ha⁻¹ increased TPH and TAH up to 60 DBH. The sulfometurom-methyl at 0.02 kg ha⁻¹, maintained chlorophyll levels, increased the calorific value of the straw and did not affect the height and number of tillers. In general, in the pointer of the plant, there was a greater concentration of residues of the ripeners between 15 and 45 DAA, as well as in regrowth. At regrowth, trinexapac-ethyl at 0.80 L ha⁻¹ and sulfometurom-methyl at 0.02 kg ha⁻¹ altered the lignocellulosic components, as well as the activity of the acid invertase enzyme (SAI), neutral invertase (NI), sucrose-phosphate synthase (SPS) and sucrose synthase (SuSy) at 15 and 60 DAA. All treatments increased the sucrose content when applied with more DBH. However, glyphosate caused damage in cane plant and ratoon cane by residual effect. The dose of glyphosate at 0.35 L ha⁻¹ presented higher sugar yield (TAH) at 45 DBH, trinexapac-ethyl and sulfometurom-methyl at doses of 0.60 to 1.00 L ha⁻¹ and 0.02 kg ha⁻¹, respectively, presented the best yields of sugar without reducing the weight of the stalks.

Key words: glyphosate, maturation, *Saccharum* spp., sucrose, sulfometurom-methyl, trinexapac-ethyl.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pluviosidade (mm), temperatura média, máxima, mínima e radiação solar registrados na Estação Meteorológica INMET, durante 2014/2015 (A) e 2015/2016 (B)	48
Figura 2 - Croqui do experimento de maturadores, A) Distribuição dos tratamentos ou parcela principal e B) subparcela a unidade experimental.....	50
Figura 3. - Açúcar Total Recuperável (ATR) em função da aplicação de A) dose de glifosato, B) doses de trinexapaque-etílico, C) maturadores em doses recomendadas em diferentes épocas antes da colheita (DAC), e D) equações de ajustes matemáticos. Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	69
Figura 4 - Pol% cana (PCC) em função da aplicação de A) glifosato, B) trinexapaque-etílico, C) maturadores em doses recomendadas em diferentes épocas antes da colheita (DAC), e D) equações de ajustes matemáticos. Igarapu de Tietê/SP, 2015.....	74
Figura 5 - Açúcares redutores (AR) em função da aplicação de A) doses de glifosato, B) doses de trinexapaque-etílico, C) maturadores em doses recomendadas em diferentes épocas antes da colheita, e D) equações de ajustes matemáticos. Igarapu de Tietê/SP, 2015.....	80
Figura 6 - Pureza do caldo (%) em função da aplicação de A) doses de glifosato, B) doses de trinexapaque-etílico, C) maturadores em doses recomendadas em diferentes épocas antes da colheita, e D) equações de ajustes matemáticos. Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	85
Figura 7 - Fibra (%) em função da aplicação de A) doses de glifosato, B) doses de trinexapaque-etílico, C) maturadores em doses recomendadas em diferentes épocas antes da colheita, e D) equações de ajustes matemáticoas. Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	88
Figura 8 - Brix (%) em função da aplicação de A) doses de glifosato, B) doses de trinexapaque-etílico, C) maturadores em doses recomendadas em diferentes épocas antes da colheita, e D) equações de ajustes matemáticos. Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	93

Figura 9 - Diferença de comprimento de colmo (cm) antes e depois da aplicação de A) doses de glifosato, B) doses de trinexapaque-etílico e C) maturadores em doses recomendadas em diferentes épocas antes da colheita, D) equações de ajustes matemáticos. Igarauçu do Tietê/SP, 2015.....	97
Figura 10 - Conteúdo de clorofila total ($a+b$), em função da aplicação de A) doses de glifosato, B) doses de trinexapaque-etílico, C) maturadores em doses recomendadas na época de 60 DAC, e D) equações de ajustes matemáticos. Igarauçu do Tietê/SP, 2015.....	103
Figura 11 - Índice SPAD em função da aplicação de A) doses de glifosato, B) doses de trinexapaque-etílico, C) maturadores em doses recomendadas na época de 60 DAC, e D) equações de modelos matemáticos. Igarauçu do Tietê/SP, 2015.....	108
Figura 12. - Resíduo de glifosato em folhas +1 (A), restante das folhas (B) e ponteiros (C) em cana-de-açúcar submetida à aplicação de doses de glifosato aos 60 DAC.....	117
Figura 13 - Conteúdo de ácido chiquimico e shiquimato-3-fosfato em folhas +1 (A, D), restante das folhas (B, E) e ponteiros (C, F) em cana-de-açúcar submetida à aplicação de doses de glifosato aos 60 DAC.....	120
Figura 14 - Concentrações de aminoácidos fenilalanina, tirosina e triptofano em folhas +1 (A, D e G), restante de folhas (B, E e H) e ponteiros (C, D, F) em cana-de-açúcar submetida à aplicação de glifosato aos 60 DAC.....	123
Figura 15. - Resíduos de sulfometurom-metílico em folhas +1, restante de folhas e ponteiros em cana-de-açúcar submetida à aplicação de sulfometurom-metílico aos 60 DAC.....	126
Figura 16 - Resíduos de metabólito trinexapac (ácido livre) em folhas +1 (A), restante de folhas (B) e ponteiros (C) em cana-de-açúcar submetida à aplicação de trinexapaque-etílico aos 60 DAC.....	128
Figura 17 - Poder calorífico (PC) no palhiço em função da aplicação de A) doses de glifosato, B) doses de trinexapaque-etílico, C) maturadores em doses recomendadas aos 60 DAC, e D) Equações de ajustes matemáticos. Botucatu/SP, 2015.....	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos químicos do solo antes da implantação do experimento na Usina Da Barra (Grupo Raízen), no município de Igarapu do Tietê/SP, 2014.....	46
Tabela 2 - Produtos e doses de maturadores (tratamentos) aplicados na variedade RB966928, cana-planta, em início da safra 2014/2015.....	51
Tabela 3 - Compostos quantificados por LC-MS/MS e curvas analíticas e faixas de concentração de cada composto analisado em cana-de-açúcar após a aplicação de glifosato como maturador.....	62
Tabela 4 - Conteúdo de carotenoides em cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores na época de 60 DAC. Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	106
Tabela 5 - Atividade da enzima invertase ácida (SAI) e neutra (NI), no terço superior de cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores aos 60 DAC em cana-de-açúcar. Igarapu do Tietê/SP. 2015.....	112
Tabela 6 - Atividade das enzimas sacarose fosfato sintase (SPS) e sacarose sintetase (SuSy) no terço superior de cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores aos 60 DAC em cana-de-açúcar. Igarapu do Tietê/SP. 2015.....	114
Tabela 7 - Concentrações de lignina, celulose e hemicelulose (%) em cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores a 60 DAC. Igarapu do Tietê/SP,	135
Tabela 8 - Produtividade de colmos ($t\ ha^{-1}$, TCH), por efeito de glifosato aplicado como maturador em diferentes épocas antes da colheita (DAC), em cana-planta e efeito residual em cana-soca. Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	137
Tabela 9 - Produtividade de colmos ($t\ ha^{-1}$, TCH), por efeito de trinexapaquetílico aplicado como maturador em diferentes épocas antes da colheita (DAC), em cana-planta e efeito residual em cana-soca. Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	139
Tabela 10 - Produtividade de colmos ($t\ ha^{-1}$, TCH), por efeito de sulfometurometílico e doses recomendadas (tratamentos comerciais) aplicados	

como maturador em diferentes épocas antes da colheita (DAC), em cana-planta e efeito residual em cana-soca. Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	140
Tabela 11 - Produtividade de toneladas de pol ha^{-1} (pol ha^{-1} , TPH) sob efeito de maturadores aplicados em diferentes épocas antes da colheita (DAC) em cana-planta. Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	144
Tabela 12 - Produtividade de açúcar (t ha^{-1} , TAH) sob efeito de maturadores aplicados em diferentes épocas antes da colheita (DAC) em cana-planta. Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	147
Tabela 13 - Altura da planta de cana-de-açúcar aos 180 dias depois da colheita (DDC) sob efeito de maturadores aplicados em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	150
Tabela 14 - Número de perfilhos em cana-soca aos 45 e 90 dias depois da colheita (DDC) sob efeito de maturadores aplicados em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	152
Tabela 15 - Desdobramento de número de perfilhos m^{-1} em cana-soca aos 180 dias depois da colheita (DDC) sob efeito de maturadores aplicados em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	154
Tabela 16 - Desdobramento de número de perfilhos m^{-1} em cana-soca aos 180 dias depois da colheita (DDC) sob efeito de maturadores aplicados em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	155
Tabela 17 - Conteúdo de clorofila total $a+b$ ($\mu\text{g cm}^{-2}$) em cana-soca aos 45 e 90 dias depois da colheita (DDC) sob efeito de maturadores aplicados em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	160
Tabela 18 - Desdobramento do conteúdo de clorofila ($\mu\text{g cm}^{-2}$) em cana-soca aos 90 dias depois da colheita (DDC) sob efeito da aplicação de maturador glifosato em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	161
Tabela 19 - Desdobramento do conteúdo de clorofila total $a+b$ ($\mu\text{g cm}^{-2}$) em cana-de-açúcar, aos 90 dias depois da colheita (DDC), sob efeito da	

aplicação do maturador trinexapaque-etílico em diferentes épocas de aplicação antes da colheita (DAC), Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	162
Tabela 20 - Conteúdo de carotenoides ($\mu\text{g cm}^{-2}$) em cana-de-açúcar aos 45 e 90 dias depois da colheita (DDC), sob efeito da aplicação de maturadores em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	165
Tabela 21 - Desdobramento do conteúdo carotenoides ($\mu\text{g cm}^{-2}$) em cana-de-açúcar aos 90 dias depois da colheita (DDC), sob efeito da aplicação de maturadores glifosato e trinexapaque-etílico em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	167
Tabela 22 - Índice SPAD em cana-de-açúcar aos 45 e 90 dias depois da colheita (DDC), sob efeito da aplicação de maturadores em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	173
Tabela 23 - Desdobramento do índice SPAD em cana-de-açúcar aos 45 e 90 dias depois da colheita (DDC), sob efeito da aplicação do maturador glifosato em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	174
Tabela 24 - Desdobramento do índice SPAD em cana-de-açúcar aos 90 dias depois da colheita (DDC), sob efeito da aplicação do maturador trinexapaque-etílico em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	175
Tabela 25 - Desdobramento do índice SPAD em cana-de-açúcar aos 90 dias depois da colheita (DDC), sob efeito da aplicação dos maturadores glifosato, trinexapaque-etílico e sulfometurom-metílico, em doses recomendadas em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarapu do Tietê/SP, 2015.....	176
Tabela 26 - Conteúdo de ácido chiquimico, fenilalanina, tirosina e triptofano na rebrota de cana-de-açúcar a 45 e 90 dias depois da colheita (DDC) submetida à aplicação do maturador glifosato.....	179
Tabela 27 - Conteúdo de trinexapaque (ácido livre) na rebrota da cana-de-açúcar submetida à aplicação do maturador trinexapaque-etílico.....	181

Tabela 28 - Conteúdos de lignina (%), celulose (%) e hemicelulose (%) na rebrota de cana-soca aos 45 e 90 dias depois da colheita dias (DDC) sob efeito da aplicação dos maturadores glifosato, trinexapaque-etílico e sulfometurom-metílico aos 60 dias antes da colheita (DAC), Igarapu do Tietê/SP, 2015..... 182

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	23
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	25
2.1	Importância econômica da cana-de-açúcar.....	25
2.2	Maturadores.....	26
2.2.1	Mecanismos de ação dos maturadores glifosato, trinexapaque-etílico, sulfometuron-metílico e seus efeitos fisiológicos no acúmulo de sacarose.....	27
2.2.1.1	<i>Glifosato (Roundup original 480 EC).....</i>	<i>27</i>
2.2.1.2	<i>Sulfometurom-metílico (Curavial 750 WG).....</i>	<i>32</i>
2.2.1.3	<i>Trinexapaque-etílico (Moddus 25 EC).....</i>	<i>34</i>
2.2.2	Condições e época de aplicação de maturadores no Brasil.....	34
2.3	Enzimas relacionadas ao acúmulo de sacarose e relação com maturadores.....	39
2.4	Pigmentos fotossintéticos.....	41
2.5	Resíduos de produtos fitossanitários.....	42
2.6	Os maturadores e seu efeito no potencial bioenergético do palhiço.....	43
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	46
3.1	Característica e localização da área experimental.....	46
3.2	Delineamento experimental e tratamentos.....	49
3.3	Avaliações em pré-colheita.....	51
3.3.1	Variáveis tecnológicas.....	51
3.3.1.1	<i>Açúcar total recuperável (ATR).....</i>	<i>52</i>
3.3.1.2	<i>Pol% cana.....</i>	<i>53</i>
3.3.1.3	<i>Açúcares redutores cana.....</i>	<i>53</i>
3.3.1.4	<i>Pureza do caldo e Brix do caldo.....</i>	<i>54</i>
3.3.1.5	<i>Fibra.....</i>	<i>54</i>
3.3.2	Diferença de comprimentos de colmos.....	55
3.3.3	Pigmentos fotossintéticos.....	55
3.3.3.1	<i>Conteúdos de clorofilas e de carotenoides.....</i>	<i>55</i>
3.3.3.2	<i>Índice SPAD (Soil Plant Analysis Development).....</i>	<i>56</i>

3.3.4	Análises bioquímicas.....	56
3.3.4.1	<i>Determinação de proteínas totais.....</i>	56
3.3.4.2	<i>Análise enzimática da síntese de sacarose (SPS e SuSy).....</i>	56
3.3.4.3	<i>Análise enzimática da quebra de sacarose (NI e SAI).....</i>	58
3.3.5	Determinação e quantificação de resíduos de maturadores e seus metabólitos.....	59
3.3.5.1	<i>Determinação da rota metabólica de glifosato.....</i>	60
3.3.5.2	<i>Resíduos de trinexapaque-etílico, sulfometurom-metílico e seus metabólito.....</i>	62
3.3.6	Análises bioenergéticas.....	63
3.3.6.1	<i>Conteúdos de lignina, celulose e hemicelulose em palhiço.....</i>	63
3.3.6.2	<i>Poder calorífico em palhiço.....</i>	64
3.4	Produtividade.....	65
3.4.1	Produtividade de colmos (TCH).....	65
3.4.2	Produtividade de açúcar (TAH) e de pol (TPH).....	66
3.5	Análises em pós-colheita (Rebrota).....	66
3.5.1	Altura da planta e número de perfilhos.....	66
3.5.2	Conteúdos de clorofilas e carotenoides e índice SPAD.....	66
3.5.3	Resíduos de maturadores na rebrota.....	67
3.5.4	Lignina, celulose e hemicelulose.....	67
3.6	Análise estatística.....	67
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
4.1	Analises pré-colheita.....	68
4.1.1	Variáveis tecnológicas.....	68
4.1.1.1	<i>Açúcar total recuperável (ATR).....</i>	68
4.1.1.2	<i>Pol % cana (PCC).....</i>	73
4.1.1.3	<i>Açúcares redutores (AR).....</i>	79
4.1.1.4	<i>Pureza do caldo (%).....</i>	83
4.1.1.5	<i>Fibra (%) cana.....</i>	84
4.1.1.6	<i>Brix% caldo.....</i>	91
4.1.2	Diferença de comprimento de colmos (cm) antes e depois da aplicação.....	96
4.1.3	Pigmentos fotossintéticos.....	101

4.1.3.1	<i>Conteúdo de clorofila total (a+b)</i>	101
4.1.3.2	<i>Carotenóides</i>	105
4.1.3.3	<i>Índice SPAD (Soil Plant Analysis Development)</i>	107
4.1.4	Análises bioquímicas.....	110
4.1.4.1	<i>Invertases SAI, NI, SPS, SuSy</i>	110
4.1.5	Análises químicas.....	116
4.1.5.1	<i>Resíduos em matéria seca e rota metabólica de glifosato</i>	116
4.1.5.2	<i>Áminoácidos aromáticos</i>	122
4.1.5.3	<i>Resíduos de sulfometurom-metílico em matéria seca</i>	125
4.1.5.4	<i>Resíduos de trinexapaque-etílico na matéria seca</i>	126
4.1.6	Análises bioenergéticas.....	128
4.1.6.1	<i>Poder calorífico (PC)</i>	128
4.1.6.2	<i>Lignina, celulose e hemicelulose no palhiço (%)</i>	131
4.2	Produtividade	136
4.2.1	Produção de cana (TCH = Toneladas de cana ha ⁻¹).....	136
4.2.2	Produção de Pol (TPH=Toneladas de Pol ha ⁻¹).....	143
4.2.3	Produção de açúcar (TAH=Toneladas de açúcar ha ⁻¹).....	146
4.3	Análises pós-colheita	149
4.3.1	Análises biométricas.....	149
4.3.1.1	<i>Comprimento de colmo (cm)</i>	149
4.3.1.2	<i>Número de perfilhos</i>	151
4.3.2	Pigmentos fotossintéticos.....	158
4.3.2.1	<i>Conteúdo de clorofila total a+b</i>	158
4.3.2.2	<i>Carotenóides</i>	163
4.3.2.3	<i>índice SPAD</i>	170
4.3.3	Análises químicas na rebrota.....	178
4.3.3.1	<i>Resíduos de glifosato</i>	178
4.3.3.2	<i>Resíduos de sulfometurom-metílico e trinexapaque-etílico</i>	180
4.3.4	Análises bioenergéticas: Lignina, celulose e hemicelulose.....	181
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	186
6	CONCLUSÕES	187
	RECOMENDAÇÕES	189
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	190

APÊNDICE.....	208
---------------	-----

1 INTRODUÇÃO

Os maturadores são uma ferramenta útil para melhorar e alterar as características fisiológicas que participam do processo de aumento da concentração de sacarose nos colmos (MORGAN et al., 2007).

Existem diferentes maturadores na atualidade disponíveis como ferramentas para melhorar o acúmulo de sacarose, principalmente glifosato, trinexapaque-etílico e sulfometurom-metílico, utilizados em diversas variedades, porém com poucos resultados para a variedade RB966998, cuja expansão em área no Brasil é marcante (RIDESA-USFCAR, 2015). Os maturadores proporcionam respostas fisiológicas diversas, atuam em diferentes rotas metabólicas, principalmente atuam nos entrenós imaturos localizados na região apical do colmo com folhas verdes e fibrosos, com alta concentração de hexose e baixa concentração de sacarose (INMAN-BAMBER, 2004), os entrenós imaturos em plantas de cana de açúcar são encontrados no início da safra, onde as variedades precoces não conseguem a maturação natural, utilizando a sacarose como energia para o crescimento vegetativo.

Portanto, os maturadores podem alterar ou modificar as características biométricas, físicas ou químicas, dependendo da época de aplicação, sendo que aplicações no início da safra são mais importantes, devido às condições climáticas adversas, onde o ganho de sacarose pode ser maior (CRUSCIOL et al., 2016; LAVANHOLI, et al., 2002). Além do reflexo nas características tecnológicas da matéria-prima, os maturadores podem alterar a composição do palhiço, resíduo da colheita mecanizada crua, que pode ser deixado no campo como cobertura do solo ou utilizado para geração de etanol, energia (FRANZÉ, 2010) e celulose (ÚNICA, 2017). Devido à possível interação com compostos determinantes para o potencial energético, medido pelo poder calorífico dos palhiço, tais como, lignina, hemicelulose e celulose, ainda são necessários trabalhos de pesquisa sobre essa possível interferência dos maturadores na produção de etanol de segunda geração (2G).

Outro ponto a ser considerado é conhecer a degradação e o resíduo destes ingredientes ativos na biomassa foliar dos colmos de cana-de-açúcar, e garantir que não provoquem danos à própria cultura no momento da colheita ou culturas vizinhas, assim como na segurança da produção de alimentos processados (açúcar) ou no caldo de cana, bebida popular e importante no Brasil e, desta forma, cumprir com as normas internacionais e nacionais (FAO/WHO, 2005; CORREIA; LEITE, 2012).

Diversas pesquisas com o maturador glifosato são contraditórias em seus resultados. Alguns autores indicam que o glifosato em aplicações sequenciais é prejudicial à cultura (Crusciol et al., 2016). No entanto, outros indicam que não há efeito na cultura (Marques et al., 2011). Segundo o anterior, pesquisas sobre o uso de maturadores ou reguladores vegetais é de grande importância no planejamento da colheita e otimização do potencial de produção de sacarose nas variedades de cultura de cana de açúcar, sobretudo quando envolve condições climáticas e/ou alteração no manejo da cultura, as quais têm influência na fisiologia da planta. Uma das atividades de manejo é a aplicação de maturadores em cana-de-açúcar visando melhorar a qualidade da matéria-prima e seus derivados ou subprodutos, principalmente em variedades novas e em expansão é fundamental.

O objetivo do trabalho foi determinar a eficácia dos maturadores na qualidade da matéria-prima, enzimática, bioenergética e quantificar os resíduos dos produtos maturadores, quando aplicados em diferentes doses e épocas na variedade precoce de cana-de-açúcar RB966928.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância econômica da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma das culturas mais importantes na agricultura brasileira, com maior crescimento em área nos últimos anos, passando de 8.654,2 mil hectares na última safra. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (CONAB, 2016), sendo utilizada como matéria-prima para a fabricação de diversos produtos, tais como: açúcar, etanol, cachaça, subprodutos de álcoolquímica, bagaço para co-geração de energia elétrica, vinhaça e torta de filtro para o manejo nutricional da cultura (FRANZÉ, 2010).

Na maioria dos estados brasileiros, houve na safra 2015/2016 queda da recuperação de sacarose (CONAB, 2016), componente principal da produção de cana-de-açúcar e matéria-prima para a elaboração de açúcar e etanol. Apesar de redução da área de produção, as expectativas na melhora da indústria canavieira são positivas, sendo importante o desenvolvimento de pesquisas científicas nessa cultura.

Nos últimos anos diversos fatores têm afetado negativamente as condições de produção de cana-de-açúcar no país, começando com a crise política, na qual refletiu em queda da expansão da cultura, assim como as condições climáticas, tanto seca quanto o excesso de chuva da safra 2015/2016, que foram as principais causas da redução de açúcares totais recuperáveis (ATR). Estes fatores afetaram o investimento em diversas áreas, dentre elas, a pesquisa científica, porém, esforços na melhoria da eficiência devem ser feitos para manter a competitividade nos mercados internacionais.

Um conjunto de medidas pode ser adotada para melhorar a eficiência de produção, como o aproveitamento dos diversos componentes da cana-de-açúcar, por exemplo, o uso de palhiço e seus componentes energéticos para a produção de etanol de segunda geração (2G); o manejo de diferentes maturadores e doses, ferramenta importante no planejamento da colheita e da qualidade de matéria-prima; cumprindo com os requerimentos nacionais e internacionais sobre uso e manejo de defensivos agrícolas (maturadores), principalmente com relação ao resíduo destes produtos nas plantas e subprodutos. Tudo isso, em seu conjunto, pode fazer mais eficiente a produção de colmos e de sacarose a longo do tempo, reduzindo custos para o produtor e aumentando os ganhos, visando uma produção com alta tecnologia, limpa e sustentável ao ambiente.

Dentro das diferentes fases fenológicas da cana-de-açúcar, a fase de maturação é a mais importante para a maior recuperação de sacarose. A maturação da cana-de-açúcar refere-se ao aumento no teor de açúcar, com base de peso da matéria fresca antes da colheita comercial (MORGAN et al., 2007).

2.2 Maturadores

Os maturadores ou reguladores de crescimento da planta são compostos que em baixas doses podem inibir, promover ou modificar processos fisiológicos da planta (ALMEIDA et al., 2003; LAVANHOLI et al., 2002).

Os maturadores podem alterar ou modificar as condições morfológicas e fisiológicas da planta, podendo ser qualitativas ou quantitativas, por exemplo: maturação precoce, inibição ou retardo no desenvolvimento vegetativo, promover o acúmulo de açúcar nos entrenós do colmo, principalmente nos primeiros entrenós. A maturação por meio de produtos químicos também permite o desponte mais alto do colmo, redução do material estranho como folhas verdes, secas e ponteiros que diminuem a qualidade da matéria-prima, dessecação rápida de folhas, melhoria na eficiência da colheita com melhor qualidade da matéria-prima (ALMEIDA et al., 2003; LAVANHOLI et al., 2002; VILLEGAS, 2003).

Hormônios de plantas são compostos orgânicos, não nutrientes, de ocorrência natural, produzidos pela planta a baixa concentração (10^{-4} M), que promovem, inibem ou alteram processos fisiológicos e morfológicos da planta. Os reguladores de crescimento do colmo são substâncias sintéticas aplicadas de maneira exógena que têm ação similar aos grupos de hormônios (auxinas, giberelinas, citocininas, etileno). Assim como, os inibidores do crescimento são substâncias naturais ou sintéticas que têm a capacidade de inibir o crescimento apical do meristema da planta.

Segundo van Heerden et al. (2014), o “maturador ideal de cana” poderia melhorar a produção de sacarose, de maneira rápida, consistente, persistente e econômica, sem prejuízo à cultura no ciclo seguinte ou culturas vizinhas.

Os principais reguladores de crescimento (relacionados a compostos hormonais da planta) são o ethephon e o trinexapac-etil. Os inibidores do crescimento são o glifosato, o sulfometurom-metilico, o fluazifob-p-butílico, o cletodim, o ortosulfamurom e o bispiribaque-sódico. Ainda há os maturadores baseados em nutrientes como B, Si, P, K (CRUSCIOL, et al., 2010; LI et al., 2000; SILVA; CAPUTO,

2012; SIQUEIRA, 2014). Existem outros produtos herbicidas utilizados como maturadores, tais como: Imazapyr, paraquat e hidrazida maleica (DALLEY; RICHARD JUNIOR, 2010; SILVA; CAPUTO, 2012).

2.2.1 Mecanismos de ação dos maturadores glifosato, trinexapaque-etílico, sulfometuron metílico e seus efeitos fisiológicos no acúmulo de sacarose.

2.2.1.1 Glifosato (Roundup original 480 EC)

Glifosato é um dos herbicidas mais utilizados no mundo e seu uso na agricultura vem aumentando significativamente desde a introdução de plantas resistentes ao glifosato (DUKE; POWLES, 2008). Além disso, o glifosato é utilizado devido ao eficaz controle de plantas daninhas e baixa toxicidade. Este herbicida é inibidor da enzima 5-enol-piruvil-chiquimato-fosfato-sintase (EPSPs), que catalisa a condensação de ácido chiquímico e do fosfato piruvato, bloqueando, assim, a síntese de três aminoácidos essenciais triptofano, fenilalanina e tirosina (ZABLOTOWICZ; REDDY, 2004).

O transporte de glifosato através da cutícula ocorre pelo processo de difusão e a taxa de absorção é influenciada pelo gradiente de concentração entre a região de deposição do produto e o interior da planta, sendo as proteínas transportadoras de fosfato, presentes na plasmalema, responsáveis por mediar sua penetração nas células (RODRIGUES, 1995). No floema o glifosato apresenta alta mobilidade, seguindo a rota dos produtos da fotossíntese (açúcares), isto é, para os tecidos de demanda energética. Portanto, o glifosato é o mais importante herbicida a afetar a síntese de metabólitos secundários, devido ao bloqueio desta rota metabólica (RODRIGUES, 1995; YAMADA; CASTRO, 2007).

Nas folhas a absorção de glifosato é um processo bifásico que envolve uma rápida penetração através da cutícula, seguida de uma fase lenta através do simplasto (MONQUERO et al., 2004). A entrada no simplasto poderia ser através do mecanismo de difusão passiva e que não é afetada pelo pH (GOUGLER; GEIGER, 1981) ou por um sistema de transporte endógeno, possivelmente por um transportador de fosfato dentro da membrana celular (BURTON; BALKE, 2012). A duração deste processo depende de diversos fatores como a espécie, idade da planta, condições ambientais e concentração de herbicida (MONQUERO et al., 2004).

Após a penetração nas folhas, o glifosato poderia alcançar os sítios metabólicos, como raiz e meristema apical, e posteriormente ser translocado a tecidos vasculares (SATCHIVI et al., 2000). A movimentação de glifosato através do floema segue a mesma rota de outros fotoassimilados que são produzidos em tecido fotossinteticamente ativos e migram através de tecidos de crescimento ou armazenamento, como as raízes, tubérculos, rizomas e folhas jovens (MONQUERO et al., 2004). Órgãos de plantas com altas taxas de metabolismo e crescimento, como nódulos, pontas de raiz e meristema apical, representam importante dreno para o glifosato (CAKMAK et al., 2009). Do mesmo modo que os fotoassimilados, a translocação de glifosato nestes tecidos muda com o ciclo de vida da planta (MONQUERO et al., 2004).

O glifosato inibe a síntese proteica e de outros compostos aromáticos e produtos secundários importantes, como vitaminas, hormônios, clorofila, fitoalexinas, alcaloides, 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 fosfolipídios, podendo aumentar a permeabilidade da membrana, causar perda da clorofila, inibir a divisão e a expansão celular e reduzir a síntese de DNA e, por fim, as possíveis associações destes eventos metabólicos culminam na paralisação do desenvolvimento vegetal (FEDTKE; DUKE, 2005; LYDON; DUKE, 1989; TAIZ; ZEIGER, 2013;) Tem como ingrediente ativo N-(fosfometil) glicina (glifosato), sendo encontrado em diferentes formulações, com ação sistêmica, é absorvido principalmente pela parte aérea das plantas, com fácil translocação pelo xilema e floema, motivo pelo qual, conforme as doses aplicadas, pode ocasionar a morte do sistema radicular e das estruturas reprodutivas dos vegetais, apresenta rápida e forte adsorção ao solo (RODRIGUES, 1995; YAMADA; CASTRO, 2007).

Como maturador o glifosato é muito consistente, efetivo e rápido na maturação da cana-de-açúcar (DALLEY; RICHARD JUNIOR, 2010), devido a duas principais razões: 1- Inibe ou reduz o crescimento por matar a gema apical ou inibir a síntese de ácido indolacético. A inibição do alongamento tem sido relacionada à capacidade da auxina de promover síntese por incremento da atividade da ACC (1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico) sintase (LIANG et al., 1992). O incremento em etileno poderia estimular o processo de senescência e germinação das gemas laterais, e o balanço hormonal entre AIA e etileno poderiam levar a paralisação do

alongamento do colmo; 2- Ocorre estresse na planta pela inibição da síntese de aminoácidos essenciais e proteínas. A EPSPs é codificada no núcleo e desempenha sua função no cloroplasto, catalisando a reação dos compostos chiquimato-3-fostato e fosfoenolpiruvato para produzir enolpiruvilchiquimato-3-fosfato e fosfato inorgânico.

No entanto, de acordo com Velini et al. (2012) e Carbonari et al. (2014), a via de regulação da rota metabólica do ácido chiquímico por glifosato ainda não é clara e não se sabe se o mecanismo de ação em diversas espécies de plantas é semelhante, embora diversas pesquisas indiquem que são diferentes. De acordo com Gomes et al. (2014), o mecanismo que leva a morte das plantas pode estar relacionado por um efeito secundário ou indireto do glifosato sobre a fisiologia da planta.

Glifosato é um dos maturadores que proporciona maior eficácia na antecipação da colheita, porém, este produto tem sido utilizado somente no último corte, ou seja, antes da renovação do canavial, devido a relatos de seu efeito prejudicial à rebrota da soqueira no Brasil, e nos estados da Louisiana e da Florida, nos Estados Unidos da América (EUA) (DUSKY et al., 1986; MILLHOLLON; LEGENDRE, 1996; LEITE, 2005 e 2010; SIQUEIRA, 2009). De acordo com van Heerden et al. (2014), citando vários autores, o glifosato, quando utilizado como maturador, promove os seguintes efeitos: redução de entrenós, clorose de folhas superiores de forma gradativa, folhas na forma de espiral morrem ou reduzem seu tamanho, brotação lateral devido à quebra da dominância apical podendo reduzir o ATR. Leite e Crusciol (2008) e Silva (2012) afirmam que o glifosato pode causar prejuízos à rebrota da soqueira, podendo ocasionar redução da produtividade na próxima colheita.

Por outro lado, Viana (2011a) relatou que o uso de glifosato não proporcionou prejuízos à qualidade e produtividade da cana. Galdiano (2013) avaliou a aplicação sequencial de maturadores após duas safras e, neste estudo, o glifosato resultou em benefícios, aumentando a produtividade de colmos.

Segundo van Heerden et al. (2014), os efeitos do maturador glifosato são contraditórios. Alguns autores relatam que não existe efeito sobre a cultura e a rebrota do ciclo seguinte, mas outros relatam efeitos negativos na altura da planta e número de perfilhos, que após certo tempo desaparecem, exceto quando são aplicadas altas doses e com maior período de ação do produto, no entanto isso dependerá da variedade (VENKATARAMANA et al., 2013). Quando o glifosato é utilizado na dose recomendada os efeitos são transitórios, mas com estresse hídrico e nutrição fraca os prejuízos podem ser maiores na rebrota. Segundo Belz e Duke (2014, em doses

subletais chamadas hormesis o único exemplo na prática e na melhora da produtividade é o uso do glifosato como maturador.

As doses efetivas de glifosato como maturador, visam acelerar o processo de acúmulo de sacarose nos colmos de cana-de-açúcar, antes da colheita, com muitos benefícios aos produtores (DUKE, et al., 2006), e variam amplamente ao redor do mundo (SILVA; CAPUTO, 2012), entre 40 e 180 g ia ha⁻¹ (VELINI et al., 2008 e 2010), 108,0 e 216,0 g ia ha⁻¹ (NETTO, 2006) ou entre 160 a 470 g de ácido equivalente ha⁻¹ (DALLEY; RICHARD JUNIOR, 2010). Em alguns países como a Guatemala, por exemplo, a aplicação de glifosato é com doses elevadas (0,9 até 1,8 L ha⁻¹ PC ou 320 g ia a 640,8 g ia), devido às condições climáticas, com alta pluviosidade e temperatura, nas quais as plantas não entram na fase de maturação (SILVA; CAPUTO, 2012). Para Legendre et al. (2002), no estado da Louisiana (EUA) o intervalo máximo entre aplicação e colheita é de 35 a 49 dias.

Silva e Caputo (2012) indicam que aplicações de glifosato como maturador permitem maior flexibilidade no período da colheita e no manejo de variedades, assim como a melhora da matéria-prima para a indústria, por meio de incrementos em pol, do conteúdo do açúcar recuperável e da produção de açúcar; e redução da isoporização, da fibra, da perda de caldo; do número de entrenós por colmo e do peso de cana produzida, resultados estes que variam de acordo com a variedade utilizada. Dalley e Richard Junior (2010) indicam que o glifosato aumenta a concentração de açúcar, mas a produção de açúcar nem sempre aumenta, devido à redução da altura da planta.

O glifosato pode ser utilizado, também, no final da safra, promovendo a manutenção sobre as características tecnológicas da cana-de-açúcar e, conseqüentemente, no teor de sacarose (LEITE, 2010; VIANA et al., 2007).

Outra alternativa é a mistura de maturadores, principalmente com glifosato, apesar de não recomendada pelas empresas fabricantes dos produtos, é um manejo praticado por alguns produtores de cana-de-açúcar. Segundo Siqueira (2009) e Galdiano (2008), citam que ao misturar maturadores com glifosato, pode promover uma melhora da qualidade da matéria-prima aos 45 ou 50 dias após da aplicação, permitindo minimizar o efeito prejudicial deste produto na rebrota da soqueira (LEITE, 2010). De acordo Crusciol et al. (2010), a mistura não gera ganhos consideráveis comparada aos produtos aplicados isoladamente, mas podem amenizar os danos à rebrota, devido à redução dos ingredientes ativos.

Vários trabalhos demonstram que o glifosato aumenta o teor de sacarose. Meschede (2009), quando aplicou glifosato $0,4 \text{ L ha}^{-1}$, aumentou, em média, 10% o teor de ATR. Em estudo similar, Silva (2012) relatou aumento do teor de ATR, porém, o autor alerta que a utilização de glifosato em safras sucessivas pode reduzir o número de colmos e, conseqüentemente, a produtividade de colmos, apesar de proporcionar, na maioria das vezes, maior produtividade de açúcar. Esses dados são similares aos reportados por Millhollon e Legendre (1996), que avaliaram a aplicação de glifosato em três anos consecutivos, encontrando uma redução de 4% na produtividade de cana, mas aumentou o ATR em 12% e, conseqüentemente, a produção de açúcar aumentou 7%.

Teixeira et al. (2013), avaliando a aplicação de glifosato na dose $0,5 \text{ L ha}^{-1}$, encontraram diferença acima de 0,73% para Brix, 1,57% para pol cana e 11,35 kg de ATR, em relação à testemunha, a partir dos 9 DAA. Karmollachaab et al. (2015) indicaram que glifosato ($0,5 \text{ L ha}^{-1}$) melhorou o teor de Brix, Pol %, fibra e açúcar recuperável (+10,6%), mas reduziu a altura da cana e causou inversão de açúcares, mostrando redução marginal da produção de colmos, concluindo que pode ser uma alternativa de manejo da maturação para as condições do Iran.

Avaliando glifosato na dose 210 g ha^{-1} , Orgeron et al. (2013) observaram incremento na concentração de sacarose em duas variedades, de 9,5% até 27,7%, comparado à testemunha, entretanto, houve redução de 7,5% na produtividade de colmos, mas aumentou a produção de açúcar por área (TAH). No caso de Oliveira Filho (2016), quando aplicou $0,4 \text{ L ha}^{-1}$ de glifosato em diferentes épocas, não encontrou ganho significativo de rendimento de açúcar em relação à testemunha aos 60 e 120 DAA, mas observou maior produtividade (+34%) quando colheu a 120 dias quando comparado à testemunha no mesmo período. Também Viana et al. (2015b) relataram ganhos nos parâmetros tecnológicos quando aplicaram glifosato a $0,4 \text{ L ha}^{-1}$ entre os 44 e 65 DAA.

Outra característica importante para uso de glifosato como maturador é a redução de teor de amido na matéria-prima. De fato, Eggleston et al. (2007) observaram redução desse teor, o que se caracterizou como um fator importante na colheita mecanizada de cana-de-açúcar sem queima prévia, melhorando a qualidade de processo. Além disso, Cesarin (2014) indicou que a aplicação de glifosato, além de ser um bom maturador, pode inibir a germinação e o crescimento de corda de viola

no final do ciclo, alterando as estruturas reprodutivas (abscisão) das plantas e reduzindo, com isso, a entrada de sementes ao solo.

No entanto, apesar dos benefícios que o glifosato proporciona quando utilizado como maturador na cana-de-açúcar, Dalley e Richard Junior (2010) e Morgan et al. (2003) ressaltam que existe necessidade de alternativas para substituir ao glifosato em diversos países, já que futuramente poderão ser desenvolvidas variedades de cana-de-açúcar tolerantes ao glifosato, o que tornaria inviável seu uso como maturador, e além disso, segundo Velini et al. (2012), o glifosato tem risco de ter restrições de uso por diversos problemas relacionados ao impacto negativo na redução da produtividade, acúmulo de resíduos da molécula na planta e problemas de deriva em diversas culturas.

2.2.1.2 Sulfometurom-metílico (Curavial 750 WG)

É um ingrediente ativo herbicida do grupo das sulfonilureas, caracterizado como potentes inibidores do crescimento vegetal, afetando o crescimento e a divisão celular, sem interferir na mitose e na síntese de DNA, com absorção rápida através das raízes, folhas e caule (RIZZARDI et al., 2004; RODRIGUES, 1995; SILVA; CAPUTO, 2012).

As moléculas de sulfoniluréia aplicadas via foliar podem ter carregamento no floema devido à sua alta permeabilidade, uma vez que, quando atingem o meio ácido da parede celular, podem se tornar neutras, de modo que nesse meio alcalino as moléculas se dissociam na forma iônica, tornam-se presas e movem-se de modo sistêmico por fluxo de massa, sendo rapidamente translocadas para áreas de crescimento ativo (meristemas), nas quais o crescimento é inibido (LEITE, 2005; RIZZARDI et al., 2004; RODRIGUES, 1995).

Os agentes químicos do grupo das sulfoniluréias atuam inibindo, de forma irreversível, a ação da enzima acetolactato sintase (ALS) ou acetohidroxi sintase (AHAS), bloqueando a síntese de aminoácidos de cadeia ramificada (valina, leucina e isoleucina) a partir dos substratos piruvato e α -cetobutarato (RIZZARDI et al., 2004).

Tais produtos também estimulam fortemente a produção de etileno devido ao efeito estressante causado pela fitotoxicidade, todavia podem ou não atuar no balanço hormonal, isto é, sobre os promotores do crescimento (auxinas, giberelinas e

citocininas), bloqueando de forma indireta suas ações fisiológicas (LEITE, 2005; RIZZARDI et al., 2004; RODRIGUES, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2013;).

A dose recomendada de sulfometurom-metílico para acelerar a maturação da cana-de-açúcar é de 15 g ia. ha⁻¹ ou 20 g de PC ha⁻¹. Após a aplicação, a cana pode ser colhida entre 25 a 45 dias. Diversos autores indicam que a aplicação de sulfometurom-metílico não reduz a produtividade de colmos, obtendo resultados importantes sobre as características tecnológicas (Brix, pol%, pureza) das variedades de cana-de-açúcar, assim como com uma boa redução do chochamento (CAPUTO et al., 2007; LEITE, 2005; OLIVEIRA, 1992; PONTIN, 1995). Castro et al. (1996) encontraram que a taxa de chochamento foi reduzida de 50 a 60% após a aplicação de sulfometurom-metílico. Outros estudos relatam ganho de 1,26 em pol% com 21 dias de antecipação da colheita, com redução de açúcares redutores (CAPUTO et al., 2007; 2008)

Siqueira (2009; 2014) encontrou diferenças na altura da planta aos 60 DAA com a aplicação de sulfometurom-metílico, em distintas áreas e anos de estudo, concluindo que a detenção do crescimento se deve às condições climáticas da área e, mesmo com redução da altura da planta, houve incremento tanto para TCH quanto para TAH. Galdiano (2013) também encontrou dados similares a estes, quando avaliou o resíduo de maturadores com uma e duas aplicações consecutivas (safras).

Segundo Leite et al. (2009), o sulfometurom-metílico não reduziu a TCH aos 40 e 60 DAA quando comparado com outros maturadores, como o glifosato. Outra característica importante que Meschede et al. (2012) mencionaram que existe aumento do teor da lignina na rebrota após o corte da cana tratada com sulfometurom-metílico, indicando que o produto não interfere no metabolismo da rota dos percussores da lignina, devido possivelmente a sua degradação, caso contrário com glifosato que podem permanecer resíduos na planta, alterando a lignina.

Outro aspecto importante é o problema de deriva, devido à diversidade de culturas perto de áreas de cana-de-açúcar. De acordo com Correia e Leite (2012), o sulfometurom-metílico foi seletivo a 7,5 g ha⁻¹ para amendoim e entre 7,5 e 15 g ha⁻¹ para café, citros, mandioca e seringueira.

Quanto à rebrota da cana-de-açúcar, segundo Silva et al. (2007), o sulfometurom-metílico não teve efeito negativo na soqueira seguinte, sobre o número de perfilhos até 180 dias após a colheita, não havendo reflexo na produtividade da safra seguinte. Do mesmo modo, Siqueira (2014), em vários experimentos realizados

em início e final de safra, concluiu que o sulfometurom-metílico não causou efeito na rebrota da soqueira e que o produto antecipa a colheita da matéria-prima em 15 dias em início de safra.

2.2.1.3 Trinexapaque-etílico (Moddus 25 EC)

Segundo van Heerden et al. (2015), o trinexapaque-etílico é o mais recente químico a ser utilizado como maturador em alguns países como África do Sul. Trinexapaque-etílico pertence ao grupo químico das ciclohexanedione (SILVA; CAPUTO, 2012), derivado do ácido carboxílico, cujo nome químico é o 4-ciclopropil- α -hidroxi-metileno-3,5-dioxíciclo-hexanocarboxílico-ácido-étil-éster (RODRIGUES, 1995). Assim como o ethephon, é um regulador vegetal da classe dos retardantes do crescimento, e tem modo de ação hormonal, sendo utilizado para evitar acamamento em cereais e em gramado, no entanto, este químico pode ser utilizado como maturador em cana-de-açúcar, com registro em vários países, como EUA, Brasil e Austrália, (DI BELLA et al., 2007; ORGERON et al., 2013; RESENDE et al., 2000; RIXON et al., 2007; van HEERDEN 2015).

O produto, uma vez aplicado, é absorvido pela planta predominantemente através das folhas e gemas terminais, caracterizando-se pela facilidade de translocação para as áreas meristemáticas e de crescimento ativo, atuando seletivamente através da redução do nível de giberelina ativa (4-6 semanas), porém sem afetar o processo de fotossíntese (RESENDE et al., 2001; RODRIGUES, 1995; van HEERDEN et al., 2014; 2015).

Os ácidos giberélicos (GAs) são compostos terpenoides, cuja substância inicial para a biossíntese é o ácido mevalônico, sendo atribuído a este hormônio vegetal, principalmente, o efeito sobre a promoção do alongamento e divisão celular (RODRIGUES, 1995). Diferente de outros produtos que atuam na primeira fase (plastídio ou retículo endoplasmático) e impedem a síntese de giberelinas, o trinexapaque-etílico atua na fase 3 (citoplasma) (MARCH et al., 2013), onde inibe a conversão do precursor inativo (GA_{20}) do hormônio ácido giberélico (GA), sendo esta a principal forma ativa (GA_1). Neste processo existe acúmulo de GA_{20} , portanto indicando que existe supressão da GA_1 , levando à inibição temporária ou reduzindo o ritmo de alongamento do entrenó ou crescimento vegetal, onde existe menor demanda de açúcar para o dreno para o crescimento e, por consequência, uma concomitante

aceleração de armazenamento de sacarose (maturação) no colmo (RESENDE et al., 2000; RIXON et al., 2007; van HEERDEN 2014; 2015) e antecipação da colheita (CRUSCIOL et al., 2010).

Silva e Caputo (2012) indicam que existe certa influência negativa do trinexapaque-etílico nos colmos, devido ao encurtamento dos entrenós que surgem após a aplicação, no entanto não são observados efeitos na produtividade final na colheita, mas há melhora na qualidade da matéria-prima. Outra vantagem deste produto é o fato de inibir o florescimento e não causar prejuízo ao número de perfilhos. Segundo Correia e Leite (2012), o trinexapaque-etílico tem seletividade para culturas como amendoim, algodão, batata, café, citros, girassol, mandioca, seringueira, uva e soja, evitando problemas de deriva a culturas vizinhas.

Segundo March et al. (2013), quando o trinexapaque-etílico é aplicado em gramados, existe aumento da citocinina, favorecendo um sistema radicular mais desenvolvido e com mais tolerância ao déficit hídrico. Resende et al. (2000) encontraram maior desenvolvimento do sistema radicular em cana-de-açúcar, assim como Di Bella et al. (2007) observaram melhor desenvolvimento da soqueira.

van Heerden (2013) encontrou ganho de 1,9 t açúcar ha⁻¹ quando aplicou trinexapaque-etílico a 2,0 L ha⁻¹ comparado ao fluazifop-p-butílico e ethephon, mas quando aplicou doses entre 0,8 e 2,0 L ha⁻¹ o efeito foi semelhante aos dois produtos. O autor concluiu que o trinexapaque-etílico é um maturador eficaz sob as condições de cana irrigada com alto potencial produtivo da África do Sul.

Ainda utilizando trinexapaque-etílico, van Heerden et al. (2015) indicaram que há uma dupla ação do produto, envolvendo a redução dos entrenós do colmo e crescimento das folhas, o que poderia explicar as diferenças das variedades à aplicação do maturador trinexapaque-etílico. Comparando aplicação de trinexapaque-etílico nas doses 0,8; 1,0 e 2,0 L ha⁻¹ ao etefom na dose 2 L ha⁻¹, os autores observaram que não houve redução dos entrenós e massa verde das folhas, com exceção ao trinexapac na dose 2,0 L ha⁻¹, indicando que a resposta é varietal. No mesmo estudo, ao final de quatro safras, os autores não encontraram redução na TCH, mas houve aumento de TAH.

Gheller e Nascimento (2001) enfatizaram encurtamento dos entrenós após a aplicação de etil-trinexapac em diferentes variedades de cana-de-açúcar, na região de Araras (SP). Guimaraes et al. (2005) encontraram aumento do teor de ATR com mínimo efeito sobre a produtividade de colmos ou na rebrota, semelhante aos

resultados encontrados por Viana et al. (2008), que observaram melhora nas características tecnológicas, mas sem apresentar influência na produtividade de colmos.

Orgeron et al. (2013), avaliando a aplicação de 300 e 350 g ha⁻¹ de trinexapaque-etílico em cinco cultivares de cana-de-açúcar na Louisiana (EUA), com um intervalo de 8 semanas, constataram incremento no teor de sacarose de 7,2% a 10,2%, e na média de cultivares o aumento foi de 9,7%, quando aplicada a maior dose, porém houve redução de 7,3%, em média na TCH quando comparado ao controle.

Em experimentos empregando-se o trinexapaque-etílico houve aumento da produtividade de açúcar e da margem de contribuição agrícola proporcionado pela melhoria da qualidade tecnológica e o processo de maturação natural foi antecipado em relação às plantas não tratadas (LEITE et al., 2008; 2009). De acordo com Siqueira (2014), a aplicação de trinexapac em início de safra no Brasil possibilitou a antecipação da colheita da matéria-prima em 15 dias.

2.2.2 Condições e época de aplicação de maturadores no Brasil

O emprego de reguladores do crescimento como maturadores em cana-de-açúcar promove o aumento no teor de açúcar nos colmos. A aplicação é necessária principalmente no início e no final da safra, quando as condições naturais para a maturação são limitadas. Vários produtos utilizados como maturadores são herbicidas aplicados em sub-doses, que atuam sobre sistemas enzimáticos ou proteínas específicas das plantas, alterando sua funcionalidade. As rotas em que atuam os maturadores são fundamentais para o crescimento e desenvolvimento vegetal, pois o seu bloqueio deve promover a paralisação do crescimento e/ou à morte das plantas. De modo análogo, o bloqueio parcial destas rotas, com uso de doses subletais destes produtos também pode ter implicações importantes, alterando o balanço de processos metabólicos nas plantas (GALDIANO, 2013).

Certos produtos químicos classificados como inibidores ou reguladores do crescimento da planta (glifosato, trinexapac-etil, sulfometurom-metil, fluazifob-p-butílico, cletodim, etefom, etc.) são aplicados na cana-de-açúcar para acelerar a maturação e melhorar a rentabilidade da produção de açúcar (MORGAN et al., 2007) em alguns países, tais como Brasil, Austrália, África do Sul, Índia, EUA, Guatemala, Suazilândia, China, entre outros, há mais de 60 anos (van HERDEEN, 2013;

VENKATARAMANA et al., 2013; DALLEY; RICHARD JUNIOR., 2010; SILVA; CAPUTO, 2012; SHONGWE, 2011).

A aplicação de maturadores químicos é importante em áreas onde as condições climáticas não são favoráveis para a maturação natural, por exemplo altas temperaturas, risco de geadas, alta intensidade de chuvas, e outras (DALLEY; RICHARD JUNIOR, 2010; ORGERON, 2012), assim como também em condições favoráveis à maturação da cana-de-açúcar, como estratégia para produzir matéria-prima com elevada qualidade em todas as fases da safra (AZANIA et al., 2013), sendo estes os principais objetivos do manejo da maturação com produtos químicos.

De acordo com van Heerden et al. (2014), a maturação da cana-de-açúcar ocorre não somente com a maior concentração, mas também com o aumento da massa de sacarose dentro do colmo da cana. Dentro das diferentes fases fenológicas da cana-de-açúcar, a fase de maturação é a mais importante para a maior recuperação de sacarose.

A maturação da cana-de-açúcar refere-se ao aumento no teor de açúcar, em base de peso da matéria antes da colheita comercial (MORGAN et al., 2007). Os mesmos autores indicam que para alcançar o máximo potencial da maturação é necessário entender vários fatores que interferem na maturação natural da cana-de-açúcar, entre eles: nitrogênio (N), idade da cultura, temperatura, estresse hídrico, fatores estes que afetam de maneira direta e indireta os processos naturais de acúmulo de sacarose. No entanto, em muitas áreas produtoras de cana-de-açúcar nem sempre as condições climáticas favorecem a maturação natural (van HEERDEN et al., 2014; SILVA; CAPUTO, 2012). Por exemplo, Scarpari e Beauclair (2004) reportaram que a cultura da cana-de-açúcar exige baixa temperatura do ar no processo de maturação, para que haja redução no ritmo do desenvolvimento vegetativo e maior acúmulo de sacarose nos colmos. Para Inman Bamber (2004), em condições de déficit hídrico superior a 120 e 145 mm anuais, há menor acúmulo de biomassa e maior de sacarose no colmo, respectivamente.

Outro objetivo principal da aplicação de maturadores é parte de uma estratégia de colheita, focado para incrementar a produção de açúcar (CAPUTO et al., 2008; LEITE, 2005; VILLEGAS, 2003).

Segundo Leite (2008) e Siqueira (2014), os maturadores podem ser utilizados em início, meio ou final de safra e seus efeitos são variáveis dependendo da época de aplicação. A maturação natural em início de safra pode ser deficiente, mesmo em

variedades precoces e, neste contexto, os maturadores têm como finalidade antecipar o processo de maturação e elevar o teor de sacarose dos colmos. Em meio de safra o maturador potencializa o processo de maturação da cana-de-açúcar, em regiões que apresentam outono/inverno chuvoso, elevando a qualidade da matéria-prima em condições climáticas desfavoráveis a este processo fisiológico, com maior período de moagem. No final de safra, os maturadores são utilizados para inibir a retomada do desenvolvimento vegetativo e manter o teor de sacarose que a planta apresentava no período de baixa disponibilidade hídrica e temperaturas amenas, notadamente no outono/inverno e início de primavera da região Centro-Sul brasileira.

Em relação às doses, é importante ainda aprofundar o conhecimento devido à diversidade de respostas em cultivares e produtos utilizados como maturadores em diferentes condições ambientais. Vários autores, tanto no Brasil como em outros países, têm utilizado diversas doses dos principais maturadores como: Sulfometurometílico, trinexapaque-etílico, etefom e glifosato (LEITE; CRUSCIOL, 2008; SIQUEIRA, 2009; SILVA; CAPUTO, 2012).

No Brasil, no caso de glifosato, as doses mais utilizadas estão na faixa de 0,30 e 0,50 L ha⁻¹ de p. c. (LEITE; CRUSCIOL, 2008; SIQUEIRA, 2009; SILVA; CAPUTO, 2012), no estado da Louisiana (EUA), as doses utilizadas estão entre 0,20 L ha⁻¹ a 0,63 L ha⁻¹ (DALLEY; RICHARD, 2010). Em alguns países como Guatemala as doses são bem maiores, na faixa de 0,70 L ha⁻¹ a 1,75 L ha⁻¹, devido à excessiva precipitação, elevada temperatura e alta produção de biomassa no início da safra, quando não existem condições naturais e propícias à maturação, porém, o uso destas doses tem causado danos à cultura e, principalmente à rebrota depois da colheita, reduzindo a produtividade em diversos ciclos de cultivo (ESPINOZA, 2012).

Existem outros fatores limitantes no período do desenvolvimento da cultura e no período da maturação, destacando-se principalmente as variedades que apresentam diferentes épocas de maturação e potenciais de florescimento, que reduzem o acúmulo de sacarose no colmo (FRANZÉ, 2010). Ainda, a idade da cultura para a aplicação do maturador e a época de colheita para obter as respostas favoráveis na recuperação de sacarose são fatores a serem considerados.

Alguns autores mencionam que os maturadores podem ser aplicados entre oito e dez meses de idade depois do plantio ou último corte. Em aplicações de 12 a 14 meses de idade, dependendo da época de colheita, a quantidade de sacarose pode não ser maximizada. O processo de maturação da cana-de-açúcar é muito complexo

e ainda não é muito entendido (AZANIA et al., 2013; CARDOZO e SENTELHAS, 2013; van HEERDEN et al., 2013).

2.3 Enzimas relacionadas ao acúmulo de sacarose e relação com maturadores

A cana-de-açúcar é uma cultura comercial e seu uso primário é a produção de sacarose. Relatórios indicam que 70% do açúcar utilizado no mundo é derivado da cana-de-açúcar (LAKSHMANAN et al., 2005; CARSON et al., 2002). A cana-de-açúcar pertence à família Poaceae, de metabolismo fotossintético C4, e é capaz de acumular acima de 25% (p/p) de peso fresco e 62% do peso seco na forma de sacarose sob condições normais (BULL; GLASZIOU, 1963; SACHDEVA et al., 2011), o que só ocorre em plantas que têm alta capacidade de armazenamento de sacarose (ANSARI et al., 2013).

Algumas variedades de cana-de-açúcar podem armazenar sacarose, que pode ser cristalizada sob a forma de açúcar, em altas concentrações (ANSARI et al., 2013). Incrementos no açúcar (sacarose) têm sido obtidos pelos programas de melhoramento convencional, através do aumento na produtividade de colmos, mas não tanto no conteúdo de sacarose (ACRECHE, et al., 2015). Segundo Gouy et al. (2015), a produção de sacarose é a característica primária de interesse para os programas de melhoramento de cana-de-açúcar, assim como o principal produto do rendimento econômico em termos da porcentagem de recuperação da sacarose, determinada pelo acúmulo de sacarose no colmo (BATTA et al., 2011).

Portanto é interessante conhecer em cana-de-açúcar três tipos de enzimas invertases, a invertase ácida vacuolar ou solúvel (VAI ou SAI), invertase ligada à parede celular (CWI) e a invertase neutra (NI), classificadas com base no pH, localização sub-celular, solubilidade e ponto isoelétrico. De acordo com Wang et al. (2013), as invertases irreversivelmente hidrolisam ou quebram a sacarose em hexoses (frutose e glucose) como fonte de energia e carbono, já que são enzimas metabólicas chaves envolvidas na regulação do crescimento e desenvolvimento da planta. Tem sido relatado que estas enzimas estão envolvidas nos processos de diferenciação celular e desenvolvimento da planta (CHANDRA et al., 2012; CARSON; BOTHA, 2002).

As enzimas invertases desempenham importante função no metabolismo da sacarose junto com as enzimas sacarose fosfato sintetase (SPS) e sacarose sintetase

(SuSy). Estas enzimas estão envolvidas no transporte de sacarose para o balanceamento da concentração de sacarose no carregamento e descarregamento no floema (ESCHRICH, 1980). A SuSy está relacionada ao crescimento (alongamento de entrenós) e sua atividade está associada à quebra da sacarose para fornecer uridina-difosfato-glucose (UDPG) para gerar energia, fixação de N, síntese de amido e síntese de sacarose em entrenós jovens, assim como na síntese e quebra da sacarose em cana-de-açúcar (VERMA et al., 2011).

Segundo Chen et al. (2016), as funções da SuSy são catalisar a uridina difosfato (UDP) e sacarose para produzir frutose e UDPG, sendo uma reação reversível, sendo sua maior função a quebra de sacarose e fornecer substrato para a sínteses de polissacarídeos (celulose, hemicelulose e lignina). Castro (1999) relatou que a maturação química modifica o desenvolvimento da planta, principalmente devido a atividade das enzimas, já que são estas que catalisam a síntese de glicose e frutose em sacarose, promovendo alta concentração de sacarose dentro do colmo.

Há diversos estudos sobre a relação entre o uso de reguladores de crescimento e a atividade de enzimas envolvidas no acúmulo de sacarose. De acordo com Guimarães et al. (2005), o uso do bioregulador trinexapaque-etílico, utilizado como maturador, inibiu a atividade das enzimas SAI e CWIs nos tecidos jovens do colmo, mas sem efeito em tecidos maduros. Ainda, segundo os autores, o bioregulador aumentou o conteúdo de sacarose sem afetar a produtividade de colmos e concluíram que a SAI pode ser usada como um parâmetro bioquímico confiável na determinação da resposta da cana-de-açúcar ao etil-trinexapac.

Estudo similar feito por Leite et al. (2011), aplicando maturadores da classe dos retardantes do crescimento (etefom e trinexapaque-etílico) comparados com nitrato de potássio, os autores encontraram, de maneira geral, níveis superiores da SAI que de NI, sem comprometer o acúmulo de sacarose. Também Leite et al. (2015), avaliando Sulfometurom-metílico, glifosato e ácidos carboxílicos, encontraram que os maturadores alteraram o conteúdo de NI e SAI em diferentes níveis, estabelecendo correlação inversa na variedade RB855453 entre níveis de SAI e o acúmulo de sacarose nos colmos. Chandra et al. (2012) indicaram que os níveis de CWIs diminuem após da aplicação de trinexapaque-etílico.

2.4 Pigmentos fotossintéticos

Clorofila é um componente bioquímico chave no aparelho molecular, responsável pela fotossíntese, onde a energia da luz do sol é utilizada para produzir oxigênio. Existem diferentes tipos de clorofila, ativadas por sinais fluorescentes, que são chamados de *a*, *b*, *c* e *d*, e diferem-se por sua estrutura molecular e sua capacidade de absorção.

A clorofila *a* é o tipo mais abundante em organismos fotossintéticos, representando cerca de 75% dos pigmentos das plantas, responsável pela cor verde das plantas e sua concentração é variável (PATANE; VIBHUTE, 2014). A clorofila *b* é um pigmento acessório presente nas plantas e em outros organismos e esta absorve energia da luz em outro comprimento de onda, transferindo à clorofila *a* para sua conversão a energia química (USMAN, 2014). De acordo com Gomathi et al. (2013), as maiores mudanças no conteúdo de clorofila podem ocorrer em cana-planta, na fase inicial de crescimento, quando comparada às fases de grande crescimento e maturação e, de maneira geral, o conteúdo de clorofila na cana-de-açúcar tende a diminuir até a fase de maturação (RADHAMANI et al., 2015).

Por sua estrutura química ser instável, as clorofilas são facilmente degradadas, resultando em produtos de decomposição que modificam a percepção e qualidade dos vegetais (STREIT et al., 2005). No entanto, elevadas produtividades obtidas pelas gramíneas tropicais (C4) são resultado de elevada eficiência fotossintética conjugada a ambientes favoráveis (BERNARDES, 1987). As organelas, além das clorofilas, contêm outros pigmentos denominados de acessórios, tais como os carotenóides (carotenos e xantofilas) (LARCHER, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Os carotenóides são pigmentos amarelos ou alaranjados, mas normalmente sua coloração é mascarada pelas clorofilas. Esses pigmentos situam-se nas lamelas dos cloroplastos, em íntima associação com as clorofilas, o que permite a transferência de energia para as clorofilas (TAIZ; ZEIGER, 2013). As clorofilas estão localizadas nos cloroplastos, organelas onde ocorre a fotossíntese, com duas reações importantes: a fotoquímica, nas membranas dos tilacóides, e a bioquímica, no estroma do cloroplasto. A síntese de clorofila pode ser bloqueada por diversos fatores, como estresse hídrico (SANTOS et al., 2015; SILVA et al., 2014; BRUNELLI, 2014; ZHANG et al., 2015), deficiências de nutrientes (RADHAMANI et al., 2015) e aplicação de maturadores ou herbicidas (LEITE, 2010; AZANIA et al., 2013). Por outro lado, pode

existir aumento do conteúdo de clorofilas pela aplicação de reguladores do crescimento (MARCH et al., 2013), isso poderia levar a mudança na estrutura do cloroplasto (YU et al., 2005).

Patane e Vibhute (2014) indicaram que existem várias técnicas para a determinação de clorofila e N, já que estão relacionados uma à outra. Dentro destas técnicas estão sensores remotos, dados hiperespectrais, dados de imagem multiespectral, índices de vegetação e técnicas de absorvância de luz, além de algumas outras como *RapidEye*, *QuickBird*, sensor MODIS, medidor SPAD e medidor CCM 200, sendo divididas em duas categorias, destrutivas e não destrutivas. Os autores indicam que na atualidade as técnicas de processamento de imagens se destacam por não ser destrutivas e em curto tempo pode-se determinar o objetivo com maior precisão que outras.

O medidor de índice SPAD (*Soil Plant Analytical Development*), segue sendo uma das mais utilizadas técnicas para a estimativa de clorofila, com grande correlação entre as unidades relativas e o conteúdo de clorofila, sendo uma ferramenta confiável e não destrutiva, para a verificação de variedades tolerantes à deficiência hídrica (SILVA et al., 2007) e à deficiência de Fe (RADHAMANI et al., 2015).

2.5 Resíduos de produtos fitossanitários

Diante da preocupação com a qualidade dos produtos e subprodutos, torna-se importante determinar as quantidades de resíduos de maturadores e seus metabólitos na biomassa da cana-de-açúcar no momento da colheita. A ocorrência dos resíduos se dá devido à sua estabilidade e pouca degradação e, desta maneira, é possível dar segurança aos alimentos quanto ao nível de resíduos de produtos fitossanitários (WEI et al., 2013), além das exigências com relação aos Limites Máximos Residuais (LMR), estabelecidos e definidos pela FAO/WHO, Comissão Codex Alimentarius, União Europeia, Agência de Proteção Ambiental (EPA, em Inglês) e autoridades nacionais (FAO/WHO, 2005; KLETER et al., 2011; SALMIRAS, 2012).

De acordo com Furlani et al. (2011) estudaram uma metodologia para análises de resíduos de sete agrotóxicos mais utilizados em cana-de-açúcar, em mais de 80 amostras em caldo de cana-de-açúcar, bebida comum e popular em muitas cidades do Brasil, e encontraram uma recuperação na calibração dos métodos analíticos entre 62,9 a 107,5% dos defensivos agrícolas, com limites de quantificação entre 0,003 a

0,04 mg L⁻¹, o que é preocupante, pois no Brasil esse caldo é indicado como um suplemento nutricional para esportistas (FAVA, 2004), sendo, portanto, importante a qualidade e segurança de bebidas e alimentos derivados de cana-de-açúcar.

Existem diversas pesquisas sobre determinação de defensivos agrícolas, por exemplo, Sharma e Singh (2013) encontraram em folhas de cana-de-açúcar resíduos de imadacloprid e seus metabólitos entre 45 e 90 dias após da aplicação (DAA) no solo, mas não encontraram resíduos no caldo. Em outro estudo em caldo de cana-de-açúcar, Zuin et al. (2006) compararam dois métodos de detecção para os defensivos agrícolas: atrazina, organoclorados e organofosforados, e encontraram recuperação de contaminantes orgânicos, indicando que os métodos comparados podem ser usados na determinação de defensivos agrícolas em amostras de alimentos derivados de cana-de-açúcar. Dados similares foram encontrados por Sampaio et al. (2012; 2013) em mel e caldo de cana-de-açúcar para 2,4-D amina, diuron, fipronil, carburam, clomazone, simazina, atrazina, imazapic, imidacloprid e thiamethoxam, com recuperação entre 75 a 120%. Em função da estabilidade das moléculas na planta, é indispensável conhecer também a fitotoxicidade dos defensivos agrícolas tanto à própria cultura como em culturas vizinhas, visando determinar e evitar níveis de resíduos (CORREIA; LEITE, 2012).

Segundo Duke (2012) existem poucos trabalhos sobre o metabolismo de glifosato, um dos maturadores mais utilizados em cana-de-açúcar ao redor do mundo (DALLEY; RICHARD, 2010), portanto estudos são necessários. Da mesma forma, não existem estudos e relatos de resíduos de sulfometurom-metílico e trinaxapaquetílico, usados como maturadores, na cultura da cana-de-açúcar.

2.6. Os maturadores e seu efeito no potencial bioenergético do palhiço

O sistema de colheita, a geração e utilização de resíduos da cultura no Brasil é outro aspecto importante dentro do manejo da cana-de-açúcar. O uso de fogo para eliminação da palha foi uma prática adotada com o objetivo de facilitar o corte e reduzir os acidentes de trabalho com os cortadores de cana. Porém, devido à preocupação com o meio ambiente quanto à emissão de gás carbônico na atmosfera, o uso de fogo para queima de cana-de-açúcar foi reduzido e a área com colheita mecanizada sem prévia despalha a fogo foi aumentada. Portanto, nesse novo sistema de colheita, as folhas secas, os ponteiros e folhas verdes são cortados e lançados sobre a superfície

do solo formando uma cobertura morta de resíduos denominada “palhiço” (OLIVEIRA et al., 1999), que pode ser deixado no campo ou utilizado para geração de etanol e energia (FRANZÉ, 2010) ou papel.

Além do reflexo nas características tecnológicas da matéria-prima, outro aspecto importante que os maturadores podem atuar ou alterar é na composição do palhiço (FRANZÉ, 2010). Devido à possível interação com compostos determinantes para o potencial energético, medido pelo poder calorífico do palhiço, tais como, lignina, hemicelulose e celulose, ainda são necessários trabalhos de pesquisa com reguladores vegetais sobre essa possível interferência nos compostos lignocelulosicos do palhiço para a produção de etanol de segunda geração (2G) e energia ou papel. O potencial energético pode ser medido através do poder calorífico, sendo esta a medida padrão para um combustível como biomassa (Jenkins et al. 1998). Segundo a ASMT (2007) o poder calorífico é o calor produzido na combustão de uma unidade unitária de um espécime em determinadas condições, expresso em joules por quilograma ($J\ kg^{-1}$), este pode ser classificado como poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI). O PCS é o calor produzido pela combustão de uma quantidade unitária de um combustível, sólido ou líquido, quando queimado a volume constante em uma bomba calorimétrica sob condições específicas, de modo que, toda a água proveniente da combustão, esteja no estado líquido depois da queima.

O palhiço de cana-de-açúcar é um resíduo da indústria sucroalcooleira, rico em componentes lignocelulósicos, com quantidades representativas de celulose e hemicelulose em sua composição e possíveis de serem utilizados em processos de biocombustíveis (CARVALHO, 2012). Esse resíduo proporciona benefícios ao solo e à cultura (AQUINO et al., 2013b), portanto pode ser deixado no próprio lugar do plantio para devolver ao solo uma parte dos nutrientes minerais imobilizados durante o crescimento, principalmente no ponteiro (FRANCO, et al., 2013; ALMEIDA, 2008). Aquino et al. (2013a) encontraram aumento na produtividade de colmos quando avaliaram a produção com diferentes quantidades de palha sobre o solo, sobretudo sob condições de déficit hídrico, pois a palha residual sobre o solo conservou a sua umidade, influenciando positivamente na produção de açúcar. Porém, Viator et al. (2011) quando aplicaram glifosato como maturador em cana-de-açúcar, e a palha não foi removida do solo depois da colheita, encontraram redução de colmos e na fotossíntese durante a rebrota, devido à liberação de glifosato da palha.

Quando a palha era queimada havia um balanço energético negativo, decorrente da perda de energia liberada por ocasião de sua queima (PAOLIELLO, 2006). De acordo com Paoliello (2006), citando vários autores, indica que a cada hectare de palha (palhiço) queimada representa, em termos equivalente energéticos, entre 29 a 30,89 barris de petróleo e 9.600 L de álcool, existindo uma perda de equivalente de 43,78 L ha⁻¹ de álcool por exsudação dos colmos no momento da queima. São gerados, em média, 18,2 t de palhiço ha⁻¹ ou 140 kg t⁻¹ de cana (CTC, 2013), com poder calorífico (PCI) da palha (15% de umidade) de 3.100 a 3.600 kcal kg⁻¹ e os ponteiros com a palha de 2.280 kcal kg⁻¹, sendo estimado o potencial energético dos resíduos da colheita sem queima da ordem de 87,72 x 10¹² kcal ano⁻¹ de energia.

Almeida (2008) e Franco et al. (2013), analisando a composição química da palha de cana-de-açúcar, encontraram valores médios de 41,42% de celulose, 32,65% de hemicelulose e 22,82% de lignina. Ainda, Almeida (2008) e Pelegrinni (2002) indicaram que a palha de cana-de-açúcar pode ser utilizada para a produção de energia, por meio da produção de carvão de palha e também como um modo de incrementar o rendimento do processo de produção energética.

Portanto, a utilização dos resíduos da colheita de cana-de-açúcar representa um grande potencial energético, além de reduzir o impacto ambiental e gerar sustentabilidade na produção sucroalcooleira. A indústria brasileira tem importantes avanços, não só na produção de açúcar e etanol, mas também está procurando outras tecnologias como a hidrólise de resíduos de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração (FRANCO, et al., 2013; LAGO et al., 2012; SILVA, et al., 2013; WALTER et al., 2014).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Característica e localização da área experimental

A pesquisa foi composta por um experimento, sendo instalado em maio de 2014, os maturadores químicos foram aplicados em quatro épocas em cana-planta, 24 de março (Época 1), 8 e 25 de abril (Épocas 2 e 3, respectivamente) e 8 de maio (Época 4) de 2015, e avaliação da produção de colmos em cana-planta e do efeito residual dos maturadores na rebrota em cana-soca (2015/2016), assim como a produção de colmos da primeira soca na safra 2015/2016.

O experimento foi instalado e conduzido na fazenda Santo Antônio, em área pertencente a Usina Da Barra (Grupo Raízen), localizada no município de Igarauçu do Tietê - SP, com as seguintes coordenadas geográficas: Latitude 22°28'43"S e longitude 48°31'59"W, em altitude de 509 m acima do nível do mar. O clima predominante da região é o Aw (Köppen), 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 e média pluvial próxima de 1344 mm. O solo da área experimental é classificado como Latossolo roxo eutrófico, textura argilosa, com ambiente de produção classificado como A (EMBRAPA, 2006).

Antes da instalação do experimento foi feita a caracterização da área, onde foram coletadas amostras de solo para realização da análise química, nas profundidades de 0-0,25 m e 0,25-0,50 m (Tabela 1). Os demais manejos agrícolas de controle de plantas daninhas, pragas e adubação foram realizados de acordo com as necessidades da área.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo antes da implantação do experimento na usina Da Barra (Grupo Raízen), no município de Igarauçu do Tietê/SP, 2014.

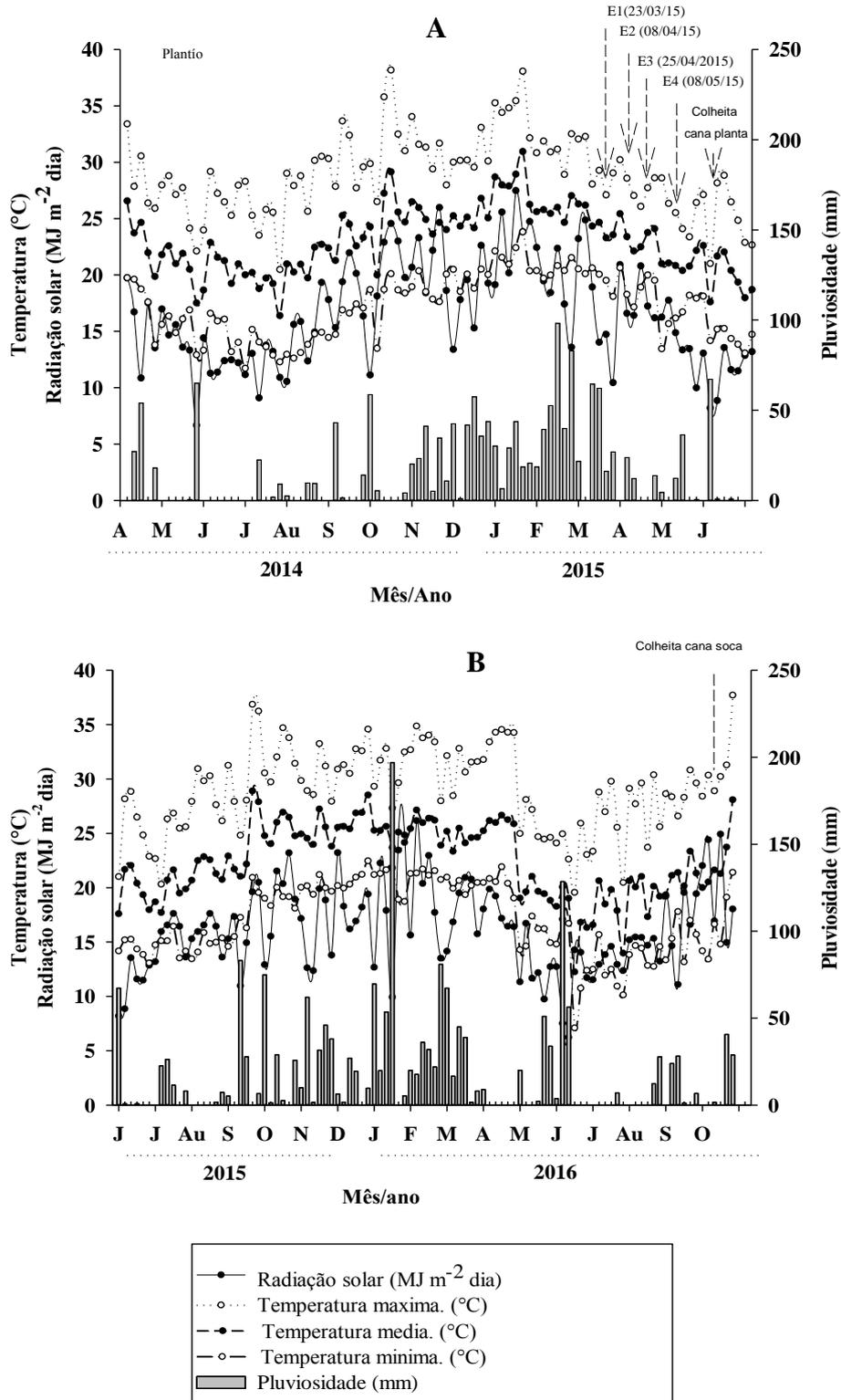
Prof. ⁽¹⁾	pH (CaCl ₂)	M.O. ⁽²⁾	P _{resina}	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB ⁽³⁾	CTC ⁽⁴⁾	V ⁽⁵⁾	m	K/CTC
Igarauçu do Tietê: Início safra 2014.													
(m)	(g dm ⁻³)		(mg dm ⁻³)										%
0 - 0,25	5,50	24	17	1,18	40,40	25,39	22	0,06	66,97	89	75	24	1,33
0,25-0,50	5,50	22	14	0,75	30,84	21,25	24	0,14	52,84	77	68	31	0,97

⁽¹⁾ Prof.: profundidade. ⁽²⁾ MO: Matéria orgânica. ⁽³⁾ SB: somas das bases. ⁽⁴⁾ CTC: capacidade de troca catiônica. ⁽⁵⁾ V: saturação de base.

Durante a condução do experimento foram coletados os dados climáticos na Estação Meteorológica Automatizada do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) do município de Barra Bonita/SP nos anos de 2014, 2015 e 2016 (Figura 1).

A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a RB966928, considerada a mais plantada no Brasil na safra 2014/2015 e a segunda cultivada em área total (RIDESA-USFCAR, 2015). Esta variedade é resultado do cruzamento das variedades RB855156 x RB815690, apresenta excelente brotação em cana-planta, alto perfilhamento em cana-planta e em cana-soca, com excelente fechamento de entrelinhas, produção agrícola alta, período útil de industrialização (PUI) médio e maturação precoce a média. Destaca-se pelo teor médio de sacarose aliada a alta produtividade agrícola. A recomendação de colheita é entre abril e maio (maturação precoce), com hábito de crescimento decumbente, tombamento eventual, teores de sacarose e de fibra médios e tolerante às principais doenças (DAROS et al., 2010).

Figura 1 - Pluviosidade (mm), temperatura média, máxima, mínima e radiação solar, registrados na Estação Meteorológica INMET, durante 2014/2015 (A) e 2015/2016 (B).



3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições em esquema de parcelas subdivididas (split plot). As parcelas (tratamentos principais) constituíram dos produtos maturadores com doses diferentes, divididos em quatro doses de glifosato mais testemunha, quatro doses de trinexapaque-etílico e uma dose de sulfometurom-metílico que foi comparada com as doses comerciais de glifosato, trinexapaque-etílico e testemunha respectivamente (Tabela 2). Os produtos maturadores quanto as doses foram definidas de acordo com a necessidade da usina Da Barra. As doses utilizadas dos produtos maturadores foram definidas de acordo com a bula ou à recomendação comercial, por tanto doses inferiores ou superiores à recomendação comercial foram definidas segundo a necessidade da usina e aplicadas para determinar o impacto na produtividade de cana, açúcar e resíduos no material vegetal e dessa maneira confirmar alguma duvidas de uso na área agrícola.

As subparcelas foram compostas por épocas de aplicação de maturadores, sendo E1= 60, E2= 45, E3= 30 e E4= 15, dias antes da colheita (DAC).

Cada subparcela foi constituída de duas linhas duplas de 10 m de comprimento e uma linha simples em cada lado utilizada como bordadura. O espaçamento foi de 1,50 m entre cada linha dupla e entre cada linha simples a 0,90 m (área total = 63 m²). A aplicação dos maturadores foi realizada nas duas linhas duplas. Para a colheita foram utilizadas as duas linhas duplas centrais (33 m²) e para as épocas de amostragem, as duas linhas duplas centrais foram utilizadas desprezando dois metros de cada extremidade com o intuito de garantir melhor amostragem (Figura 2).

A aplicação dos tratamentos principais foi realizada no período da manhã, por meio de equipamento costal pressurizado (CO₂), com barra de 3 m de comprimento em forma de "T", adaptada ao sistema de plantio, contendo seis bicos de pulverização TT 110015, plástico (Spraying Systems), regulados para volume de calda de 166,00 L ha⁻¹ (Apêndice 1).

Figura 2 - Croqui do experimento de maturadores, A) Distribuição dos tratamentos ou parcela principal e B) subparcela ou unidade experimental.

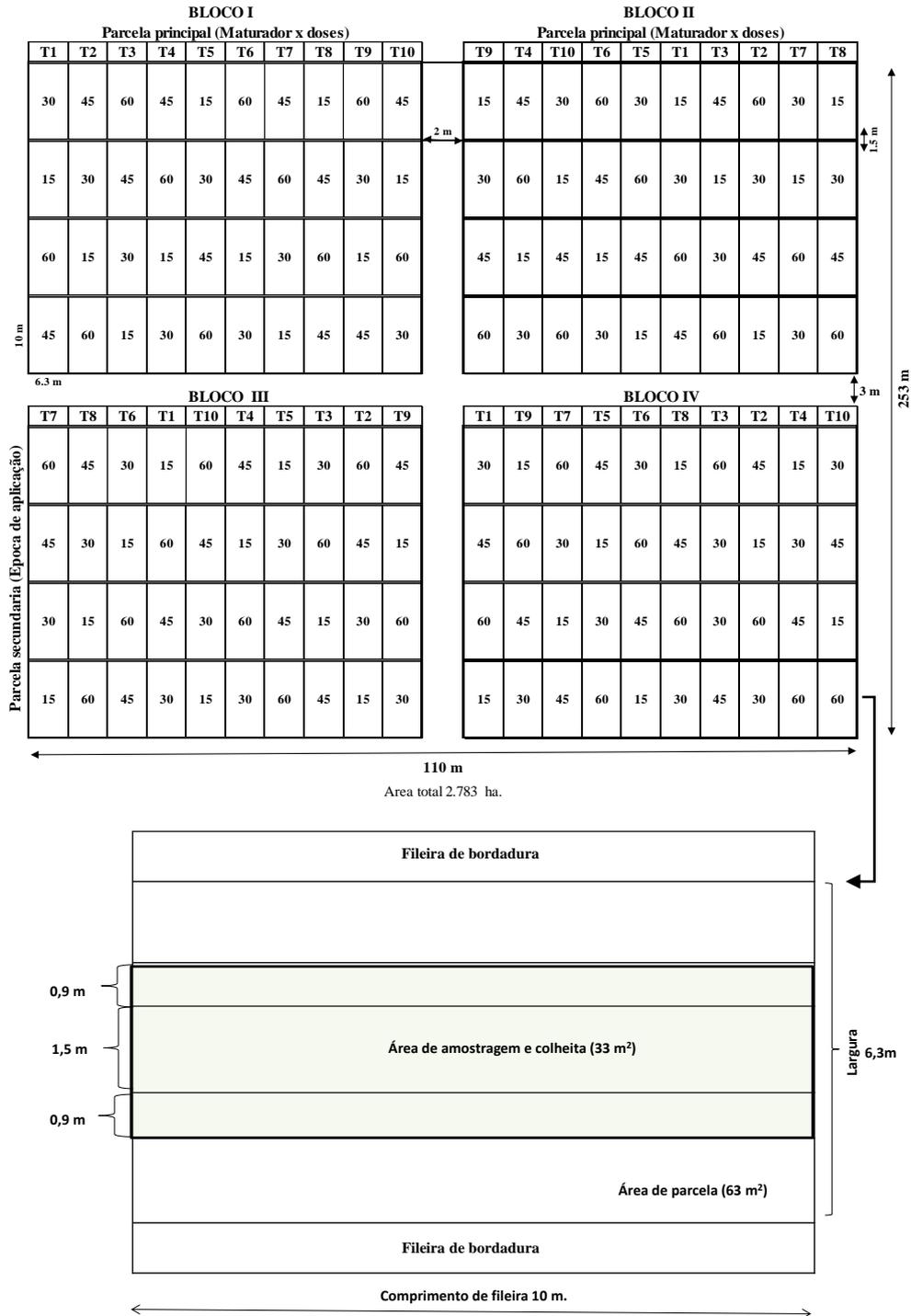


Tabela 2 - Produtos e doses de maturadores (tratamentos) aplicados na variedade RB966928, cana-planta, em início da safra 2014/2015.

Trat.	Produto Comercial g ia L ⁻¹ ou kg	Ingrediente Ativo	Quantidade de ingrediente ativo (L ou kg)	Dose (L ou kg de produto comercial)
T1	Testemunha	Sem aplicação	-----	-----
T2	Roundup SC, 480	Glifosato	0,126 ea	0,35
T3	Roundup SC, 480	Glifosato	0,162 ea	0,45
T4	Roundup SC, 480	Glifosato	0,180 ea	0,50
T5	Roundup SC, 480	Glifosato	0,360 ea	1,00
T6	Moddus, 250	Trinexapaque-etílico	0,150	0,60
T7	Moddus, 250	Trinexapaque-etílico	0,200	0,80
T8	Moddus, 250	Trinexapaque-etílico	0,250	1,00
T9	Moddus, 250	Trinexapaque-etílico	0,300	1,20
T10	Curavial, 750	Sulfometurom-metílico	0,015	0,02

ea =equivalente ácido (glifosato). Para sulfometurom-metílico foi adicionado 1 mL/L de água de adjuvante (Tensor Plus®), sulfometurom-metílico 0.02 kg foi comparado com as doses comerciais de glifosato 0,45 L, trinexapaque-etílico 0,80 L e testemunha sem aplicação.

3.3 Avaliações em pré-colheita

3.3.1 Variáveis tecnológicas

Para cada época de aplicação dos maturadores foi realizada amostragem de colmos, aos 0, 15, 30, 45 e 60 dias após aplicação (DAA) dos produtos, para determinar o ponto máximo de acúmulo das variáveis tecnológicas.

Para as análises tecnológicas foram coletados 10 colmos industrializáveis, despontados na altura da gema apical (ponto de quebra), de maneira contínua (1 metro linear) por parcela das duas fileiras centrais, os quais foram encaminhados ao laboratório da usina da Barra para o processamento, segundo a metodologia do Sistema de Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose (SPCTS) e utilizando os valores do Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (CONSECANA, 2006), segundo Fernandes (2003). Vale ressaltar que nas amostragens realizadas não foram coletados os perfilhos novos, para composição da amostra. Após a desintegração e homogeneização dos colmos, uma alíquota de 500 g foi submetida à prensa hidráulica, de acordo com o método de Tanimoto (1964),

resultando o caldo extraído, que foi utilizado para as determinações químico-tecnológicas.

3.3.1.1 Açúcar total recuperável (ATR)

O açúcar total recuperável (ATR) constitui um dos parâmetros do sistema de pagamento de cana implantado no estado de São Paulo a partir da safra de 1998/99, e reflete o resultado da diferença entre o ART (açúcares redutores totais) da cana e as perdas na lavagem de cana, no bagaço final, na torta do filtro ou prensa e as “indeterminadas”, considerando a eficiência média padrão, ou seja, representa a quantidade de açúcares (na forma de açúcares invertidos ou ART) que são recuperados na usina, assumindo perdas de 12% nos processos citados (FERNANDES, 2003).

O cálculo do ATR, dado em kg açúcar t⁻¹ de cana, foi realizado através da equação 1 (E1), regulamentada pelo CONSECANA em 1999:

$$\text{ATR} = 10 \times 0,88 \times 1,0526 \times \text{PCC} + 10 \times 0,88 \times \text{ARC} \quad (\text{E1})$$

Em que:

- o fator 10, refere-se à transformação de kg Pol/100 kg cana (%) em kg Pol t⁻¹ cana;
- o fator 0,88, refere-se à eficiência industrial de lavagem, extração e tratamento caldo, ou seja, coeficiente de recuperação, para uma perda industrial de 12%;
- o fator 1,0526, refere-se ao fator que transforma a Pol em AR, ou seja, coeficiente estequiométrico para a conversão de pol em açúcares redutores, conforme equação 2 (E2);
- ARC

$$\text{AR} = (9,9408 - 0,1049 \times \text{Pureza}) \times (1 - 0,01 \times \text{Fibra}) \times (1,0313 - 0,00575 \times \text{Fibra}) \quad (\text{E2})$$

Em que:

- Primeiros parênteses: Regressão que correlaciona Pureza da cana com teor de AR;
- Segundo parênteses: Regressão que transforma a AR do caldo para AR da cana;
- Terceiro parênteses: Regressão que corrige a extração da prensa para extração real.

3.3.1.2 Pol% cana

A Pol% cana (PCC) representa a porcentagem aparente de sacarose contida numa solução de açúcares. Para o caldo de cana madura o teor de glicose e frutose é geralmente baixo, menor do que 0,5%, comparado ao teor de sacarose, que pode estar acima de 16%, na média da safra, fazendo com que seu valor se aproxime bastante do teor real de sacarose, sendo normalmente aceito como tal. A sacarose, um dissacarídeo, é o principal parâmetro de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar; refere-se ao açúcar diretamente cristalizável no processo de fabricação (FERNANDES, 2003). Obtida através da equação 3 (E3):

$$\text{PCC (Pol\% cana)} = \text{Pol\% caldo} * (1 - 0,01 * \text{Fibra}) * C \quad (\text{E3})$$

Em que:

- C = coeficiente de transformação da pol do caldo extraído em pol do caldo absoluto, calculado pela equação 4 (E4):

$$C = 1,0313 - 0,00575 * F (\text{fibra}) \quad (\text{E4})$$

3.3.1.3 Açúcares redutores cana

Os açúcares redutores (AR) referem-se ao termo utilizado para designar os açúcares monossacarídeos, glicose e frutose, principalmente. Os açúcares redutores são produtos precursores de cor no processo industrial, isto é, participam de reações que aumentam a cor do açúcar, depreciando a qualidade do produto. Durante a maturação da cana-de-açúcar, à medida que o teor de sacarose se eleva os açúcares redutores decrescem de aproximadamente 2,0% para valores abaixo de 0,5%, entre março/abril e setembro/outubro no hemisfério Sul, podendo chegar a 0,2%. Esse comportamento torna importante a análise do teor de açúcares redutores para acompanhamento e julgamento da maturação, principalmente nos primeiros meses de safra (FERNANDES, 2003). Os açúcares redutores (AR) por cento cana foram determinados pela equação 5 (E5):

$$\text{ARC (AR\% cana)} = \text{AR} * (1 - 0,01 * F) * C \quad (\text{E5})$$

Em que,

- C foi descrito anteriormente;
- F refere-se à fibra cana;
- AR representa os açúcares redutores do caldo. O AR pode ser calculado pela equação 6 (E6):

$$\text{AR\% caldo} = 3,641 - 0,0343 * P \quad (\text{E6})$$

Em que,

P representa a pureza aparente do caldo, expressa em porcentagem.

3.3.1.4 Pureza do caldo e Brix do caldo

A pureza reflete a porcentagem de sacarose contida nos sólidos solúveis, sendo denominada “pureza real”, entretanto quando esta determinação é realizada numa solução açucarada impura, diz-se “*pureza aparente*”. A pureza expressa quantos por cento dos sólidos solúveis (°Brix) são representados pela sacarose (pol) (FERNANDES, 2003). Determinada através da equação 7 (E7):

$$P (\text{Pureza}) = (\text{Pol\% caldo} / \text{Brix\% caldo}) \times 100 \quad (\text{E7})$$

O Brix% caldo refere-se aos sólidos solúveis por cento do caldo e foi determinado em refratômetro digital de leitura automática.

3.3.1.5 Fibra

A fibra é a matéria insolúvel em água contida na cana. No colmo de cana, as fibras do parênquima são de estrutura mais frágil e fina, e formam as células isodiamétricas de estocagem do caldo de alto teor de sacarose (FERNANDES, 2003). No sistema de pagamento de cana pelo teor de sacarose (PCTS) a fibra é estimada em função do peso de bagaço úmido da prensa, conforme a equação 8 (E8). É 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.

$$F = 0,08 * \text{PBU} + 0,876 \quad (\text{E8})$$

Em que,

F é a fibra% cana;

PBU refere-se ao peso do bagaço úmido da prensa, em gramas.

3.3.2 Diferença de comprimento de colmos

A diferença do comprimento médio dos colmos foi determinada por média da medição de 10 colmos, sendo a medição antes da aplicação dos maturadores, assim como antes da colheita, calculando a diferença de comprimento do colmo por efeito dos maturadores entre os dois períodos, a medição foi com régua graduada em centímetros, da distância entre o solo até a região auricular da folha +1, de acordo com a numeração sugerida por Kuijper (DILLEWIJN, 1952). Foram utilizados os mesmos colmos amostrados para análises tecnológicos.

3.3.3 Pigmentos fotossintéticos

3.3.3.1 Conteúdos de clorofilas e de carotenoides

A determinação da clorofila foi feita na época de aplicação de 60 DAC, iniciando antes da aplicação (0 DAA) e com intervalos de 15 dias até a colheita, aos 60 DAA.

De acordo com Santos et al. (2014), o conteúdo de clorofila foi determinado retirando, por meio de furador, dois discos foliares da folha +1, entre a borda e a nervura central da folha, cada um com 0,8478 cm². A obtenção da clorofila *a* clorofila *b* e carotenóides foi realizada segundo a metodologia de Lichtenthaler (1987), em que os discos foliares foram imersos em 2 mL do solvente dimetil-formamida (DMF) e mantidos protegidos da luz por 24 h. Após esse período 1 mL do extrato foi retirado e adicionado em uma cubeta de quartzo com 1 mL de água deionizada. As leituras de absorvância foram feitas nos comprimentos de onda de 480, 647 e 664 nm em espectrofotômetro UV-VIS (UV 2700, Shimadzu Corporation, Kioto, Japão).

O conteúdo de clorofila total (CC $a+b$, $\mu\text{g cm}^{-2}$) foi obtido pela soma entre clorofila *a* e clorofila *b*. A determinação do conteúdo de clorofilas e carotenoides foi analisado no Laboratório de Ecofisiologia Aplicada à Agricultura (LECA) do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu.

3.3.3.2 Índice SPAD (*Soil Plant Analysis Development*)

A estimativa do conteúdo de clorofila mediante o índice SPAD foi realizada na mesma folha +1, utilizada para quantificar o conteúdo de clorofila por espectrofotometria. A mensuração foi realizada por meio do clorofilômetro SPAD 502 (Minolta Corp., Ramsey, NJ, EUA) e considerou-se a média de três leituras realizadas em plantas das fileiras centrais. Estas leituras foram realizadas em cinco plantas por tratamento, iniciando antes da aplicação (0 DAA), com intervalos de 15 dias, até a colheita (60 DAA).

3.3.4 Análises bioquímicas

As enzimas referentes à maturação da cana-de-açúcar foram determinadas na época de 60 DAA (24/03/2015). As amostragens foram realizadas a 15 e 60 DAA. A determinação da atividade de enzimas foi analisada no Laboratório de Ecofisiologia Aplicada à Agricultura (LECA) do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu.

As amostras foram compostas de entrenós superiores onde foram retiradas da parte apical do colmo, formando uma amostra composta referente aos entrenós número 1, 2 e 3 (do ápice em direção à base). As amostras de colmos foram imediatamente congeladas em nitrogênio líquido e, posteriormente, armazenadas em ultra freezer (-80°C) até o momento das análises.

Os procedimentos para as extrações das enzimas nos colmos foram realizados com base no método de Grof et al. (2007), porém com modificações descritas a seguir: 500 mg de amostras frescas foram maceradas no almofariz, com 5% de polivinilpolipirrolidona (PVPP) e 3,0 mL de tampão Hepes 50 mM com pH 7,5, contendo MgCl₂ 10 mM e EDTA 1mM. Em seguida o extrato cru foi centrifugado a uma força de 14000 G, a 4 °C por 30 minutos. Após a centrifugação foram coletadas 2,5 mL do sobrenadante e dessalinizado em coluna Sephadex G25 (PD-10, GE), previamente saturada com o tampão de extração. O extrato recuperado da coluna, após eluição com o mesmo tampão da extração, foi utilizado para determinação dos teores de proteínas e análise enzimática.

3.3.4.1 Determinação de proteínas totais

As determinações das proteínas totais dos colmos (3 entrenós superiores) foram feitas pelo método de Bradford (1976), utilizando-se reagente preparado (Sigma-Aldrich, Brasil). Em tubo de ensaio foram adicionados 10 µL do extrato, 90 µL de água e 3 mL do reagente preparado diluído na proporção 1:4 (reagente: água). Fez-se a leitura em espectrofotômetro UV-VIS (UV 2700, Shimadzu Corporation, Kioto, Japão) no comprimento de onda 595 nm. A concentração de proteína total foi calculada a partir da curva padrão obtida com leituras de solução contendo 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 µg de albumina sérica bovina (BSA). O espectrofotômetro foi zerado com o branco contendo água deionizada no lugar da amostra. As análises foram realizadas no Laboratório de Ecofisiologia Aplicada à Agricultura (LECA), no Departamento de produção e melhoramento vegetal, da Faculdade de Agronomia FCA/UNESP, Botucatu.

Os procedimentos utilizados para as determinações das atividades enzimáticas da sacarose fosfato sintetase (SPS), sacarose sintetase (SuSy), invertase neutra (NI) e invertase ácida (SAI) estão descritas a seguir.

3.3.4.2 Análise enzimática da síntese de sacarose (SPS e SuSy)

A reação da enzima sacarose fosfato sintase (SPS) ocorreu em tampão Tris-HCl 200 mM com pH 7,5, contendo 10 mM de MgCl₂, 2 mM de EDTA, 8 mM de frutose-6-fosfato (Fru-6-p), 40 mM de glicose-6-fosfato (Glu-6-p) e 50 mM de uridina 5'-difosfoglicose (UDP-glicose). A reação enzimática foi montada em microtubos de 2 mL (Eppendorf) contendo extrato e tampão na proporção 1:1 (v/v). O volume de extrato utilizado na reação variou para cada amostra, para garantir o teor de proteína total utilizado na reação de 18 ± 2 µg. A reação foi incubada a 37 °C por 0, 30, 60 e 90 minutos. Em cada tempo foi retirada uma alíquota de 50 µL do meio de reação e colocada em tubos de ensaio com rosca e imediatamente levado à banho-maria a 100 °C por 3 minutos para interromper a reação enzimática.

Para a reação da enzima sacarose sintase (SuSy) utilizou-se tampão Tris-HCl 200 mL com pH 7,5, contendo 15 mM de MgCl₂, 25 mM de frutose e 50 mM de uridina 5'-difosfoglicose (UDP-glicose). A reação enzimática foi montada em microtubos de 2 mL (Eppendorf) contendo extrato e tampão na proporção 1:1 (v/v). O volume de

extrato utilizado na reação variou para cada amostra, para garantir o teor de proteína total utilizado na reação de $18 \pm 2 \mu\text{g}$. A reação foi incubada a $30 \text{ }^\circ\text{C}$ por 0, 30, 60 e 90 minutos, e em cada tempo foi retirada uma alíquota de $50 \mu\text{L}$ do meio de reação e colocada em tubos de ensaio com rosca e imediatamente levado à banho-maria a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ por 3 minutos para interromper a reação enzimática.

As determinações da sacarose formada nas reações enzimáticas da SPS e da SuSy foram realizadas como descrito por Zhu et al. (1997). Na alíquota retirada do meio de reação em cada tempo foi adicionado $100 \mu\text{L}$ de KOH 30% e levado a banho-maria a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ por 10 minutos. Após o resfriamento foi adicionado $1,5 \text{ mL}$ de reagente antrona preparado da seguinte forma: 76 mL de H_2SO_4 , 30 mL de água e 150 mg de antrona. O meio de reação foi incubado a $40 \text{ }^\circ\text{C}$ por 20 minutos e realizada a leitura de absorbância em espectrofotômetro UV-VIS (UV 2700, Shimadzu Corporation, Kioto, Japão) no comprimento de onda 620 nm . A concentração de sacarose foi calculada a partir da curva padrão obtida por uma solução de sacarose na concentração de 0,1; 0,25; 0,5; 1; 2; 3 e 4 mM de sacarose. Como branco, colocou-se água deionizada no lugar da amostra. A atividade enzimática, expressa em μmol de sacarose $\text{g MF}^{-1} \text{ min}^{-1}$, foi calculada considerando a diferença da sacarose formada entre duas amostras retiradas nos diferentes tempos ($T_{90}-T_{60}$ ou $T_{60}-T_{30}$ ou $T_{30}-T_0$).

3.3.4.3 Análise enzimática da quebra de sacarose (NI e SAI)

A reação da enzima invertase neutra (NI) ocorreu em tampão acetato de sódio 1M com $\text{pH } 7,5$. A reação enzimática foi montada em microtubos de 2 mL (Eppendorf) contendo extrato, tampão e solução de sacarose 240 mM na proporção 1:1:2 (v/v/v), respectivamente. O volume de extrato utilizado na reação variou para cada amostra, para garantir o teor de proteína total utilizado na reação de $18 \pm 2 \mu\text{g}$. A reação foi incubada a $37 \text{ }^\circ\text{C}$ por 0, 30 e 60 minutos. Em cada tempo foi retirada uma alíquota de $200 \mu\text{L}$ do meio de reação e colocada em tubos de ensaio e imediatamente levado à banho-maria a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ por 3 minutos para interromper a reação enzimática.

Para a reação da enzima invertase ácida (SAI) utilizou-se tampão acetato de sódio 1M com $\text{pH } 4,5$. A reação enzimática foi montada em microtubos de 2 mL (Eppendorf) contendo extrato, tampão e solução de sacarose 240 mM na proporção 1:1:2 (v/v/v), respectivamente. O volume de extrato utilizado na reação variou para cada amostra, para garantir o teor de proteína total utilizado na reação de $18 \pm 2 \mu\text{g}$.

A reação foi incubada a 37 °C por 0, 30, 60 e 90 minutos. Em cada tempo foi retirada uma alíquota de 200 µL do meio de reação e colocada em tubos de ensaio, em seguida foi adicionado 30 µL de tampão Tris 2,5 M e imediatamente levado à banho-maria a 100 °C por 3 minutos para interromper a reação enzimática.

A determinação dos açúcares redutores formados pela quebra da sacarose foi realizada pelo método de Somogyi-Nelson (NELSON, 1944; SOMOGYI, 1945; 1952). No tubo de ensaio contendo 200 µL da reação enzimática interrompida adicionou-se 300 µL de água deionizada e 500 µL da solução de Somogyi. Os tubos foram agitados, vedados e levados a banho-maria a 100 °C por 10 minutos.

Após esse tempo os tubos foram resfriados em banho de gelo e, em seguida, foram adicionados 500 µL da solução de Nelson e 1000 µL de água. Os tubos foram agitados e foram feitas as leituras de absorvância em espectrofotômetro UV-VIS (UV 2700, Shimadzu Corporation, Kioto, Japão) no comprimento de onda 560 nm. A concentração de açúcares redutores foi calculada a partir da curva padrão obtida com soluções de glicose na concentração de 0,25; 0,5; 0,75; 1,00; 1,25; 1,50; 1,75; 2,00; 2,25 e 2,75 mM. Como branco, colocou-se água deionizada no lugar da amostra. A atividade enzimática, expressa em µmol de glicose g MF⁻¹ min⁻¹, foi calculada considerando a diferença da glicose formada entre duas amostras retiradas nos diferentes tempos (T₉₀-T₆₀, T₆₀-T₃₀ ou T₃₀-T₀).

3.3.5 Determinação e quantificação de resíduos de maturadores e seus metabólitos

As análises de resíduos dos diferentes produtos maturadores foram realizadas no Laboratório de Núcleo de Pesquisa Avançada em Matologia (NUPAM) da FCA/UNESP, Botucatu, para sua determinação e quantificação em cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC).

Os padrões analíticos (pureza > 99%) de glifosato, AMPA (ácido aminometilfosfônico) e outros compostos foram adquiridos na Sigma Aldrich (São Paulo, Brasil).

Os resíduos dos maturadores e metabólitos foram determinados e quantificados em diferentes órgãos da planta na época de 60 DAC, os órgãos utilizados foram: folha +1, ponteiro ou palmito e restante das folhas de cana-de-açúcar. As amostragens foram feitas em intervalos de 15 dias até a colheita, ou seja,

na fase de pré-colheita, assim como também em pós-colheita (cana-soca), utilizando a rebrota (folhas e caule) aos 45 e 90 DDC.

3.3.5.1 Determinação da rota metabólica de glifosato

Seguindo as metodologias propostas por Gomes et al. (2011; 2015) e Carbonari et al. (2011 e 2014), foram coletadas folhas de cinco plantas de cada parcela, em cada tratamento. As folhas foram acondicionadas em sacos de papel, o material foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 40°C, durante duas semanas e as amostras foram levadas ao NUPAM da FCA/UNESP para sua determinação e quantificação em cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC).

O material seco foi moído em moinho de rotor vertical com facas móveis e fixas (MA-340, Marconi, Piracicaba, SP, Brasil) com velocidade fixa de 1750 rpm e peneira de 10 mesh e acondicionadas em sacos de papel para posterior extração e análise dos compostos. Após as amostras terem sido moídas, foram obtidos 100 mg de cada amostra em balança analítica (AY 220, Shimadzu, Kioto, Japão) com 0,0001 g de precisão, que foram acondicionados em tubos “falcon” de 15 mL de capacidade e adicionado 10 mL de água acidificada a pH 2,5 no tubo contendo a amostra.

Os tubos foram agitados para que a amostra fosse misturada e homogenizada com água e submetidos a banho de ultra-som durante 30 minutos a 60°C. Na sequência foram centrifugados a 4000 rpm por 10 min a 20°C (modelo, marca, cidade e país da centrífuga) e o sobrenadante coletado, filtrado usando filtro 0.45 µm MILLEX HV com 13 mm de membrana Durapore® (Marca de membrana com baixa ligação a proteínas para minimizar interação com a amostra e maximizar a recuperação, fabricada de fluoreto de polivinilideno, PVDF) e acondicionado em vial âmbar de vidro de 9 mm (2 mL) para análise subsequente e quantificação por cromatografia líquida-espectrometria de massas (LC-MS/MS).

Para a realização das análises foi utilizado um sistema LC-MS/MS, composto por um cromatógrafo líquido de alta eficiência (HPLC) (Proeminence UFLC, Shimadzu, Kioto, Japão), que combina análise ultra-rápida e excelente performance de separação, com alta confiabilidade de resultados; equipado com duas bombas LC-20AD, autoinjeter SIL-20AC, degazeificador DGU-20A5, sistema controlador CBM-20A (permite a operação totalmente automatizada) e forno CTO-20AC (para controle da temperatura da coluna), acoplado ao HPLC espectrômetro de massas TRIPLE

QUAD 4500 (AB SCIEX), híbrido triplo quadrupolo, onde Q1 e Q3 são utilizados como filtros de massa e Q2 é uma célula de colisão onde as moléculas intactas e fragmentos de Q1 são quebrados em fragmentos de massas menores.

O modo utilizado nas análises foi o triplo quadrupolo, sendo que Q3 é definido para detectar apenas uma massa especial, que é um fragmento conhecido (filho) da molécula intacta (pai) de massa conhecida filtrada por Q1. Este é o modo quantitativo padrão utilizado para metabólito alvo, tendo como principais vantagens alta sensibilidade e reprodutibilidade, baixo ruído e medição simultânea de até 100 compostos (QUEIROGA, 2009).

Para aperfeiçoar as condições do espectrômetro de massas foram realizadas infusões, ou seja, injeções diretas no espectrômetro de massas, com solução analítica padrão de 1 mg L⁻¹ de cada composto individualmente. A partir das infusões, foi escolhido o modo de ionização da fonte (ESI – ionização por eletrospray), que produz íons do analito na fase líquida antes de entrarem no espectrômetro de massas. O modo de ionização negativo foi utilizado para os seguintes compostos: ácido chiquímico, ácido quinico, shiquimato-3-fostato, glifosato e AMPA. Para os três aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina e triptofano), se utilizou o modo de ionização positivo.

As condições cromatográficas no modo de ionização negativo foram: coluna analítica Gemini 5 µ C18 110 Å (150 mm x 4,6 mm), fluxo de 0,500 mL min⁻¹, na fase móvel, no modo gradiente com fase A composta por 5 mM acetato de amônio em água e fase B composta por 5 mM acetato de amônio em metanol. O gradiente empregado consistiu 0-1 min 30% na fase B e 70% na fase A; 1-5 min 50% na fase B e 50% na fase A; 5-8,5 min 75% na fase B e 25% na fase A; 8,5- 15 min 90% fase B e 10% fase A; 15-18 min 30% fase B e 70% fase A. O positivo, com as seguintes condições cromatográficas: coluna analítica Synergi 2,5 µ Fusion RP 110 Å, fluxo de 0,500 mL min⁻¹, no modo gradiente com fase A composta por 5 mM acetato de amônio em água e fase B composta por 5 mM acetato de amônio em metanol. O gradiente empregado consistiu de: 0-2 min 10% fase B e 90% fase A. 2-4 min 40% fase B e 60% fase A; 4-12 min 95% fase B e 5% fase A; 12-15 min 10% fase B e 90% fase A.

O tempo de retenção de cada composto na coluna cromatográfica foi 2,01 minutos para ácido chiquímico; 2,01 minutos para ácido chiquimato-3-fosfato; 2,0 minutos para glifosato; 2,02 minutos para AMPA; 4,74 minutos para fenilalanina; 3,13 minutos para tirosina, e 4,99 minutos para triptofano.

As curvas analíticas, massa molecular e faixa linear para os compostos foram construídas nas seguintes faixas de concentração, segundo a Tabela 3.

Tabela 3 - Compostos quantificados por LC-MS/MS e curvas analíticas e faixas de concentração de cada composto analisado em cana-de-açúcar após a aplicação de glifosato como maturador.

Composto	Massa Molecular	Equação	r ²	Faixa linear
Glifosato	169,08	$y = 5,78e+003 x + 2,95e+003$	0,9957	2,34-600
AMPA	111,04	$y = 913 x + -84,6$	0,9980	2,34-300
Ácido chiquimico	174,15	$y = 811 x + 1,47e+004$	0,9965	2,34-600
Chiquimato-3-fosfato	252,957	$y = 480 x + 1,29e+004$	0,9836	2,34-300
Fenilalanina	165,19	$y = 6,58e+004 x + 2,28e+005$	0,9975	2,34-600
Tirosina	181,19	$y = 3,81e+004 x + 1,19e+004$	0,9933	2,34-600
Triptofano	204,23	$y = 8,26e+004 x + 9,69e+004$	0,9979	2,34-300

3.3.5.2 Resíduos de trinexapaque-etílico, sulfometurom-metílico e seus metabólitos

As análises de detecção e quantificação foram realizadas de acordo com a metodologia proposta por Hiestra e Kok (2003) para trinexapaque-etílico e trinexapaque (ácido livre), e por Stry e Henze (2016) para sulfometurom-metílico e metabólito, porém com algumas modificações. O processo de secagem e moagem das amostras foi similar ao descrito em glifosato.

Após as amostras serem secas e moídas, foram obtidos 100 mg de cada amostra em balança analítica (AY 220, Shimadzu, Kioto, Japão) com 0,0001g de precisão, que foram acondicionados em tubos "falcon" de 15 mL de capacidade, adicionando 10 mL da solução extratora 25% (acetonitrila:água, 25:75 v/v) e para homogeneização foi utilizado ultrassom (Elmasonic P 180 H, Elma Schmidbauer GmbH, Hamburg, Alemanha) por 30 min, em seguida as amostras foram centrifugadas por 5 min a 5000 rpm utilizando centrífuga refrigerada (Hettich-Rotina 38 R Hettich zentrifugem D-78532, Alemanha), logo uma alíquota do supernadante foi filtrada utilizando filtro 0,45 µm MILLEX® HV com 13 mm de membrana Durapore (Meck Milipore Ltd. Tullagren, Irlanda) e acondicionado em vial âmbar de vidro de 9 mm (2

mL) para análise subsequente e quantificação por cromatografia líquida-espectrometria de massas (LC-MS/MS).

Para aperfeiçoar as condições do espectrômetro de massas foram realizadas infusões, ou seja, injeções diretas no espectrômetro de massas, com solução analítica padrão de 0,5 mg L⁻¹ de cada composto individualmente. A partir das infusões, foi escolhido o modo de ionização da fonte (ESI – ionização por eletrospray), que produz íons do analito na fase líquida antes de entrarem no espectrômetro de massas. O modo de ionização negativo foi utilizado para o composto trinexapac (ácido livre, metabólito) e para os compostos trinexapaque-etílico, sulfometurom-metílico e IN-H6184 (metabólito de sulfometurom-metílico), utilizou-se o modo de ionização positivo.

As condições cromatográficas no modo de ionização negativo e positivo foram: coluna analítica Synergi 2,5 µ Hidro-RP 100 Å (50 mm x 4,6 mm), fluxo de 0,600 mL min⁻¹, na fase móvel, no modo gradiente com fase A composta por água/0,5% ácido acético e fase B composta metanol (MeOH) /0,5% ácido acético.

O tempo de retenção de cada composto na coluna cromatográfica foi 3,95 min para trinexapaque-etílico; 3,02 min para trinexapac (ácido livre); 3,58 min para sulfometurom-metílico, e 3,02 min para metabólito IN-H6184-004.

3.3.6 Análises bioenergéticas

3.3.6.1 Conteúdos de lignina, celulose e hemicelulose em palhiço

As análises bioenergéticas foram realizadas no Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM) da Faculdade de Ciências Agrônômicas, FCA/UNESP, Botucatu. As análises bioenergéticas foram determinadas e quantificadas em palhiço (folhas verdes e ponteiro) de cana-de-açúcar na época de 60 DAC, e em intervalos de 15 DAA até o momento da colheita (60 DAA), assim como durante a rebrota, aos 45 e 90 dias depois da colheita (DDC) com o objetivo de observar algum efeito pela aplicação dos maturadores sobre a composição de compostos lignocelulosicos.

Para as avaliações de lignina, hemicelulose e celulose foram coletadas aleatoriamente 10 plantas (folhas e ponteiros) por parcela ao momento da amostragem. O procedimento foi o mesmo utilizado por Meschede (2009). As folhas

foram secas em estufa de circulação forçada a 40 °C por duas semanas e, posteriormente, foram trituradas em moinho (Wiley, Piracicaba, São Paulo, Brasil). Inicialmente foram analisadas 25 amostras de aproximadamente 5 g com a metodologia de fibra em detergente ácido e lignina em detergente ácido (FDA e LDA). Os dados gerados foram utilizados para alimentar a base de dados do programa da técnica *Fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR IR/NIR = *Near Infrared Reflectance*) e sua respectiva calibração em laboratório.

A técnica utilizada foi baseada na lignina em detergente ácido (LDA), em que a amostra é previamente tratada com solução de detergente ácido, resultando na fibra em detergente ácido (FDA), que após é submetida à digestão com solução concentrada de ácido sulfúrico a 72% (van SOEST, 1965). No entanto, esta técnica foi adaptada com a utilização de saquinhos confeccionados em TNT 100 (“tecido não tecido”, porosidade de 100 micra). Após a digestão, os saquinhos foram colocados em autoclave (120 °C 30 min⁻¹), dispostos no interior de garrafão para solução de capacidade de 20 L contendo 50 mL de solução em detergente ácido por amostra. Em seguida, foi realizada pré-lavagem com água fria para retirada do excesso de detergente, sendo submetidos a cinco enxagues com água deionizada quente (5 min⁻¹), sendo então, escorridos, imersos em acetona (5 min⁻¹) e secos em estufa (105°C) (LANES, 2006).

Para a determinação das variáveis foi utilizada a técnica de espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR = *Fourier Transform Infrared Spectrophotometer*) e IR/NIR (PerkinElmer, Inc. Waltham, EUA). Foram utilizadas aproximadamente 10 g da amostra de palhiço seco, colocada em placas de Petri, de maneira que cobrisse toda a superfície da mesma, sendo, após, colocadas no infravermelho por 30 segundos para uma média de 64 varreduras de 4000 a 10000 cm⁻¹, por 2 cm de resolução (RODRÍGUEZ-ZÚÑIGA et al., 2014).

3.3.6.2 Poder calorífico em palhiço

O poder calorífico do palhiço de cana-de-açúcar foi analisado no Laboratório de Ecofisiologia Aplicada à Agricultura (LECA) do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, segundo os critérios estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, constantes da NBR – 8633/84, indicada para o carvão vegetal, podendo ser

adaptada para qualquer combustível sólido e também para a palha. A principal propriedade para caracterização energética de biomassas em geral é o PCS (kJ kg^{-1}).

Para verificar as alterações no potencial calorífico do palhiço da cana-de-açúcar foram realizadas as análises a partir de 15 DAA e com intervalos de 15 dias até aos 60 DAA. A metodologia utilizada foi adaptada de vários autores (BERTOZZO ET AL., 2011; BLANCO et al., 2012; CARVALHO, 2012; LIZCANO, 2015).

O palhiço foi coletado de cada parcela e acondicionado em sacos de papel. No laboratório, as amostras foram secas em estufa a 40°C até alcançar peso constante, e em seguida foram trituradas e moídas em moinho (tipo Wiley, Marconi, Piracicaba, SP, Brasil) e transformadas em serragem com a umidade e tamanho ideal (mesh 40) a fim de promover uma homogeneização do material.

Foi utilizado aproximadamente 0,5 g de material seco acondicionado em cadinhos, e foi avaliado o poder calorífico superior (PCS), que é o poder obtido em combustão e a volume constante utilizando-se uma bomba calorimétrica marca IKA® C200 (IKA®-Werke GmbH & Co. KG Staufen, Alemanha), na função isoperibol, que consiste num recipiente de aço inoxidável, com tampa de rosca que constitui a bomba propriamente. A água formada pela combustão é condensada e padronizado de acordo com o poder calorífico do ácido benzoico $6314.4 \text{ cal g}^{-1}$.

Dentro da bomba há duas barras onde coloca-se um fino fio de arame de ferro e, amarrado em ele, um fio de algodão cujos extremos se introduzem abaixo do material seco. As barras estão conectadas num circuito que de tal maneira, a fechar o circuito de baixa tensão, queima-se o arame seguido do fio que incende o material seco de palhiço. Para facilitar a combustão, colocou-se dentro da bomba oxigênio a pressão (20-30 atm). Colocou-se, também, água a aproximadamente a 20°C dentro do recipiente hermético duplo que funciona como isolante do exterior durante a queima do material.

3.4 Produtividade

3.4.1 Produtividade de colmos (TCH)

A quantificação da produtividade de colmos, em toneladas de colmos por hectare (TCH), foi realizada, em cana-planta (2015) aos 60 DAA (25/05/2015) e em cana-soca (2016) não houve aplicação, para dessa forma determinar o efeito residual

dos produtos maturadores, por tanto a produção de cana foi colhida 150 dias após da data planejada (10/10/2016) devido ao efeito das condições climáticas, principalmente precipitação e priorização de áreas a colher pela usina.

A colheita de cada parcela foi realizada sem queima prévia da cana-de-açúcar utilizando-se uma colhedora. A massa de colmos duas linhas duplas de cada parcela foi obtida utilizando uma balança célula de carga adaptada em um caminhão, sendo os dados extrapolados para toneladas de colmos ha⁻¹.

3.4.2 Produtividade de açúcar (TAH) e de pol (TPH)

A produtividade de açúcar, em tonelada de açúcar por hectare (TAH), foi obtida, cana-planta (2015) pelo produto entre a produtividade de colmos (TCH) e os valores de ATR e da Pol% cana, respectivamente, obtidos na colheita de cada parcela aos 60 DAA.

3.5 Análises em pós-colheita (Rebrota)

3.5.1 Altura da planta e número de perfilhos

Para cada época de aplicação foi determinada a altura média das plantas após a colheita, seguindo a metodologia utilizada na determinação de altura na pré-colheita (Item 5.3.2), aos 180 dias depois da colheita (DDC), segundo nesta fase fisiológica há estabilização do número de perfilhos da cultura.

Quanto ao número de perfilhos, foi determinado em 10 m lineares das duas fileiras centrais de cada parcela, para cada época de aplicação, aos 45, 90 e 180 DDC.

3.5.2 Conteúdos de clorofilas e carotenoides e índice SPAD

Os conteúdos de clorofilas e carotenoides e o índice SPAD foram determinados aos 45 e 90 DDC para todas as épocas aplicadas, seguindo a metodologia utilizada na pré-colheita.

3.5.3 Resíduos de maturadores na rebrota

Os resíduos de maturadores e metabólitos nos perfilhos foram determinados aos 45 e 90 DDC para a época 60 DAC, utilizando cinco plantas inteiras (rebrota) e seguindo a metodologia descrita anteriormente (item 5.3.5.1).

3.5.4 Lignina, celulose e hemicelulose

O conteúdo de lignina, hemicelulose e celulose foram determinados aos 45 e 90 DDC. Para a época 60 DAC, utilizando cinco plantas inteiras (rebrota) e seguindo a metodologia descrita anteriormente (Item 5.3.6.1).

3.6 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANAVA) a 5% de probabilidade pelo teste F, e ao teste de médias (DMS) a 5% ou 10% de significância, dependendo da variável analisada, utilizando o programa estatístico InfoStat, versão 2016, considerando os seguintes fatores: bloco, dias antes da colheita ou época de aplicação (DAC), dias depois da colheita (DDC), tratamentos (maturador x dose), e dias após a aplicação (DAA).

Para as variáveis tecnológicas, para o fator DAC com mais de quatro níveis, os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste de F (5%), e os dados foram ajustados a equações matemáticas, quando houve significância e quando havia menos de quatro níveis, os dados foram submetidos a comparação de médias pelo teste DMS a 5% de significância.

Para os diferentes compostos da rota metabólica de glifosato, os resultados das concentrações dos compostos avaliados ($\mu\text{g g}^{-1}$) nos diferentes períodos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e as médias comparadas pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. Para a confecção das figuras e regressões estatísticas utilizou-se o programa matemático Sigma Plot, versão 12,5, e se realizou o teste F para a regressão, calculando-se, enfim, o coeficiente de determinação (COD) também conhecido como R^2 .

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises pré-colheita

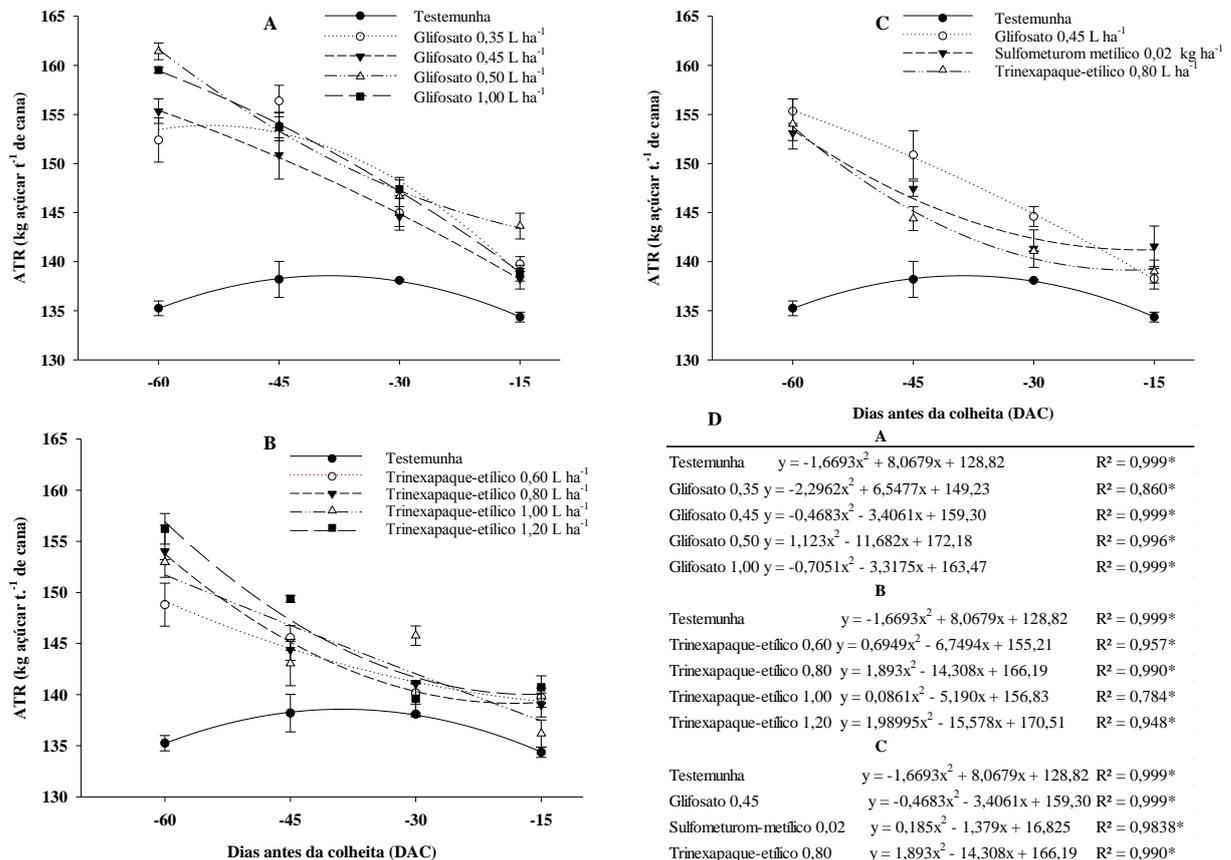
4.1.1 Variáveis tecnológicas

4.1.1.1 Açúcar total recuperável (ATR)

De acordo com as diferentes épocas de aplicação, os resultados analisados para ATR indicaram que os tratamentos de glifosato apresentaram interação entre tratamento (T) e dias antes da colheita (DAC) ($p < 0,0001$). Houve incremento do ATR com o decorrer do tempo (Figura 3A) e os valores foram ajustados por modelos quadráticos com suas respectivas equações matemáticas (Figura 3D).

Todos os tratamentos aplicados superaram a testemunha aos 15 DAC, no entanto o tratamento glifosato a $0,50 \text{ L ha}^{-1}$ apresentou o maior incremento com 6,9%, seguido dos tratamentos glifosato $0,35$; $1,00$; e $0,45 \text{ L ha}^{-1}$, com 4,0%, 3,3% e 2,9%, respectivamente, sem apresentar diferenças entre eles (Figura 3A).

Figura 3 - Açúcar total recuperável (ATR), em função da aplicação de A) doses de glifosato, B) doses de trinexapaque-etílico, C) maturadores em doses recomendadas em diferentes épocas antes da colheita e D) equações de ajustes matemáticos. Igarauçu de Tietê/SP, 2015. * = significativo ao nível de 5% de probabilidade. Cada barra indica o valor médio de quatro repetições \pm desvio-padrão.



Para os 30 DAC, todos os tratamentos superaram a testemunha na ordem de 6,7% até 4,7% (Figura 3A). Da mesma forma, Meschede et al. (2009) e Orgeron et al. (2013) encontraram com aplicação de glifosato na dose comercial aos 30 DAA ganhos de ATR sobre a testemunha, confirmando os resultados deste estudo.

Já aos 45 DAC, todos os tratamentos com glifosato foram superiores à testemunha, em que glifosato nas doses de 0,35; 0,50; e 1,00 L ha⁻¹ apresentaram os maiores ganhos de ATR, com valores de 13,2%, 11,4%, e 11,3%, respectivamente, seguidos do tratamento glifosato 0,45 L ha⁻¹ com 9,2% (Figura 3A).

Para os 60 DAC, as diferentes doses de glifosato foram superiores à testemunha, em que glifosato a 0,50 e 1,00 L ha⁻¹ acrescentaram, respectivamente, 19,4% e 17,9% no valor de ATR, sem diferença significativa entre eles, seguidos pelos tratamentos 0,45 e 0,35 L ha⁻¹, com aumentos de 14,85% e 12,68%, respectivamente,

em relação à testemunha, e sem diferenças entre os tratamentos (Figura 3A). Dados similares foram reportados por Karmollachaab et al. (2015), que avaliaram glifosato a $0,50 \text{ L ha}^{-1}$ e encontraram ganho acima de 10,6% aos 60 DAC. Todos os tratamentos com glifosato alcançaram o maior conteúdo de ATR aos 60 DAC, no entanto na testemunha foi observado o menor conteúdo de ATR.

Em média, os tratamentos com diferentes doses de glifosato acumularam maior ATR à medida que foram aplicados com maior antecedência da colheita. Glifosato $0,35$ e $0,45 \text{ L ha}^{-1}$ alcançaram o maior acúmulo de ATR aos 45 DAC na ordem de 12% e 12,3%, respectivamente, e os tratamentos de glifosato $0,50$ e $1,00 \text{ L ha}^{-1}$ acumularam maior ATR na época de 60 DAC, com 12,4% e 14,9%, respectivamente. No entanto, a testemunha apresentou seu maior acúmulo na época de 45 DAC, com 2,9%, mas sem diferenças com as épocas de 30 e 60 DAC, quando os valores foram inferiores a qualquer dos tratamentos aplicados. O comportamento dos resultados de ATR foram explicados através do coeficiente de determinação (R^2) em que os valores oscilaram entre 0,86 a 0,999 (Figura 3D).

Os efeitos observados de acúmulo de ATR em todas as doses aplicadas nas diferentes épocas é reflexo que glifosato como maturador tem ação rápida na planta por seu efeito fisiológico de inibir a diferenciação do meristema apical (DALLEY; RICHARD JUNIOR, 2010), e devido a sua rápida translocação pela planta, e por acelerar o seu metabolismo (MARQUES et al., 2011), o que leva ao rápido acúmulo de sacarose no colmo em um período compreendido entre 15-30 DAA (LEITE; CRUSCIOL, 2008; MESCHÉDE et al., 2010). Por outro lado, alguns autores, como Oliveira Filho et al. (2016) e Viana (2015b) indicam efeito mais lento, o que não foi o caso deste estudo, provavelmente devido às doses mais elevadas utilizadas.

Os tratamentos de trinexapaque-etílico apresentaram interação entre T e DAC ($p < 0,0001$). Houve incremento do ATR com o decorrer do tempo (Figura 3B) e os valores de ATR foram ajustados por modelos quadráticos (Figura 3D).

Aos 15 DAC todos os tratamentos foram superiores em ATR à testemunha, em que os tratamentos trinexapaque-etílico $1,20$; $0,60$; e $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ aumentaram em 4,7%, 4% e 3,4% respectivamente, seguido de trinexapaque-etílico $1,00 \text{ L ha}^{-1}$ com 1,36%. Já para os 30 DAC somente trinexapaque-etílico $1,00 \text{ L ha}^{-1}$ foi superior à testemunha com 5,6% (Figura 3B).

Para os 45 DAC, todos os tratamentos superaram a testemunha, no entanto os tratamentos com maior diferença em ATR foram trinexapaque-etílico $1,20$ e $0,60 \text{ L ha}^{-1}$

¹, superando a testemunha em 8,1% e 5,3%, respectivamente, seguido de trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹ com 4,47%, (Figura 3B).

Aos 60 DAC observou-se que os tratamentos com maior dosagem foram superiores à testemunha, em que os tratamentos trinexapaque-etílico 1,20; 0,80 e 1,00 L ha⁻¹ superaram em 15,5%, 13,9% e 13,1%, respectivamente, sem apresentar diferença significativa entre eles, seguido de trinexapaque-etílico 0,60 L ha⁻¹ com 10% (Figura 3B).

Em média, os tratamentos acumularam maior ATR à medida que foram aplicados com maior antecedência à colheita, portanto trinexapaque-etílico 1,00 L ha⁻¹ alcançou o maior acúmulo de ATR os 60 DAC, com aumento 12,3% em relação à época de 15 DAC, seguido de trinexapaque-etílico na dose de 1,20 e 0,80 L ha⁻¹ com 11,90% e 10,82%, respectivamente, e trinexapaque-etílico alcançou maior acúmulo de ATR na época de 45 DAC, com 6,49%, sem diferença para a época de 60 DAC. No tratamento testemunha houve aumento no ATR de somente 2,86% na época de 45 DAC em relação à época de 15 DAC, o qual foi um incremento muito inferior comparado aos demais tratamentos com trinexapaque-etílico. O comportamento dos resultados de ATR foram explicados através do coeficiente de determinação (R²), em que os valores oscilaram entre 0,784 a 0,999 (Figura 3D).

Para os tratamentos com glifosato, sulfometurom-metílico e trinexapaque-etílico nas doses comerciais houve interação entre T e DAC (p<0,0001). Houve incremento do ATR com o decorrer do tempo (Figura 3C) e os valores de ATR foram ajustados por modelos quadráticos (Figura 3D).

Para os 15 DAC, todos os tratamentos com doses comerciais foram superiores em ATR comparados à testemunha, mas sem apresentar diferenças entre eles, em que os tratamentos sulfometurom-metílico 0,02 kg, trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹ e glifosato 0,45 L ha⁻¹ superaram em 5,4%, 3,4% e 2,9% respectivamente (Figura 3C).

Para os 30 DAC, os tratamentos nas doses comerciais superaram a testemunha (sem aplicação), quando glifosato 0,45 L ha⁻¹, sulfometurom-metílico 0,02 kg ha⁻¹ e trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹ superaram em 4,7%, 2,4% e 2,2% respectivamente, e sem diferenças entre eles (Figura 3C).

Para os 45 DAC, todos os tratamentos nas doses comerciais superaram a testemunha, quando glifosato 0,45 L ha⁻¹ e sulfometurom-metílico 0,02 kg ha⁻¹ apresentaram as maiores diferenças, com 9,2% e 6,7%, respectivamente, porém sem diferença significativa entre eles, e o trinexapaque-etílico 0,60 L ha⁻¹ superou em 4,5%

(Figura 3C). Esses dados são similares ao aumento de 10,6% reportado por Inoue et al. (2015) no mesmo período, e Crusciol et al. (2016), que indicaram que glifosato e sulfometurom-metílico são maturadores mais eficientes no acúmulo de sacarose em condições desfavoráveis à maturação natural.

Viana et al. (2015b) relataram que glifosato, trinexapaque-etílico e sulfometurom-metílico aumentaram o teor de ATR aos 45 DAA em 9,7%, 4,1% e 2,5%, respectivamente, no entanto, os ganhos variaram de acordo com o genótipo. Caputo et al. (2008) encontraram ganhos em ATR que variaram em função dos genótipos na ordem de 4 até 15 kg de açúcar t de colmos⁻¹ (kg t⁻¹) com sulfometurom-metílico aos 42 e 63 DAA. No entanto, alguns estudos indicam o contrário, como no caso de Galdiano (2013) em que glifosato e trinexapaque-etílico, em uma ou duas aplicações sequenciais, não melhoraram o teor de ATR.

Para os 60 DAC todos os tratamentos foram superiores à testemunha, quando glifosato 0,45 L ha⁻¹, trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹ e sulfometurom-metílico 0,02 kg ha⁻¹ aumentaram em 14,9%, 13,9% e 13,2%, respectivamente, sem diferença significativa entre eles. Esses dados confirmam os resultados relatados por Inoue et al. (2015), após aplicarem sulfometurom-metílico na dose de 0,02 kg ha⁻¹, encontraram incremento no ATR de 8,3% sobre a testemunha a 60 DAA. No entanto outros estudos indicam que o sulfometurom-metílico a 0,02 kg ha⁻¹ pode antecipar a colheita segundo o genótipo entre 21 e 24 dias em relação à testemunha (Viana et al., 2015b; Caputo et al., 2008).

Em média os tratamentos aplicados alcançaram seu maior acúmulo de ATR à medida que foram aplicados com maior antecedência da colheita. O tratamento glifosato 0,45 L aumentou o ATR na época de 60 DAC em 12,34% em relação à época de aplicação de 15 DAC, no entanto não foi diferente à época de 45 DAC. O sulfometurom-metílico e trinexapaque-etílico 0,80 L apresentaram o maior valor de ATR aos 60 DAC, com 8,2% e 10,8%, respectivamente, em relação à época de aplicação de 15 DAC. A testemunha somente acumulou 2,85% (0,90 kg t⁻¹) de ATR na época de 60 DAC quando comparado com a época de 15 DAC, no entanto, o valor obtido aos 60 DAC foi estatisticamente similar com as épocas de 30 e 45 DAC. Para cada tratamento foram geradas equações com R² que oscilaram na ordem de 0,97 até 0,999 explicando o comportamento do ATR nas diferentes épocas de aplicação (Figura 3D).

De forma geral houve maior porcentagem de ganho de ATR quando os maturadores foram aplicados com maior antecedência da colheita (60 DAC), devido provavelmente à redução da temperatura mínima, que variou de 20,5°C (60 DAC=23/03/2015) a 17°C (15 DAC=08/05/2015) (Figura 1A). Araújo et al. (2016), trabalhando com cana-de-açúcar com interrupção da irrigação na fase de maturação, indicaram que houve mais influência no acúmulo de sacarose (ATR) pelas temperaturas baixas do ar medidas em graus dias (GD), o que pode explicar a maior influência dos maturadores sob condições desfavoráveis à maturação, como as observadas neste estudo.

De acordo com Viana et al. (2015b), quando avaliaram glifosato como maturador, reportaram ganho de 14,7 kg t⁻¹ de ATR aos 65 DAA, e também Meschede (2009) e Siqueira (2009) reportaram 10% e 35% de ganhos em ATR, respectivamente. Orgeron et al. (2013), na Louisiana (EUA), encontraram que glifosato foi o melhor maturador, incrementando o ATR em 17%, oito semanas após da aplicação, em relação à testemunha, enquanto o trinexapaque-etílico aumentou em 9,5% na dose de 350 g ia ha⁻¹. Ainda Orgeron et al. (2016), avaliando glifosato após 4 semanas da aplicação e trinexapaque-etílico após 8 semanas, encontraram aumentos de 13% e 8,12% na concentração de sacarose (g de sacarose kg⁻¹ cana), respectivamente, em relação à testemunha, enquanto no Brasil, Maia et al. (2013) reportaram ganhos entre 1,79 e 11,85 kg t⁻¹ pela aplicação de trinexapac em diferentes variedades.

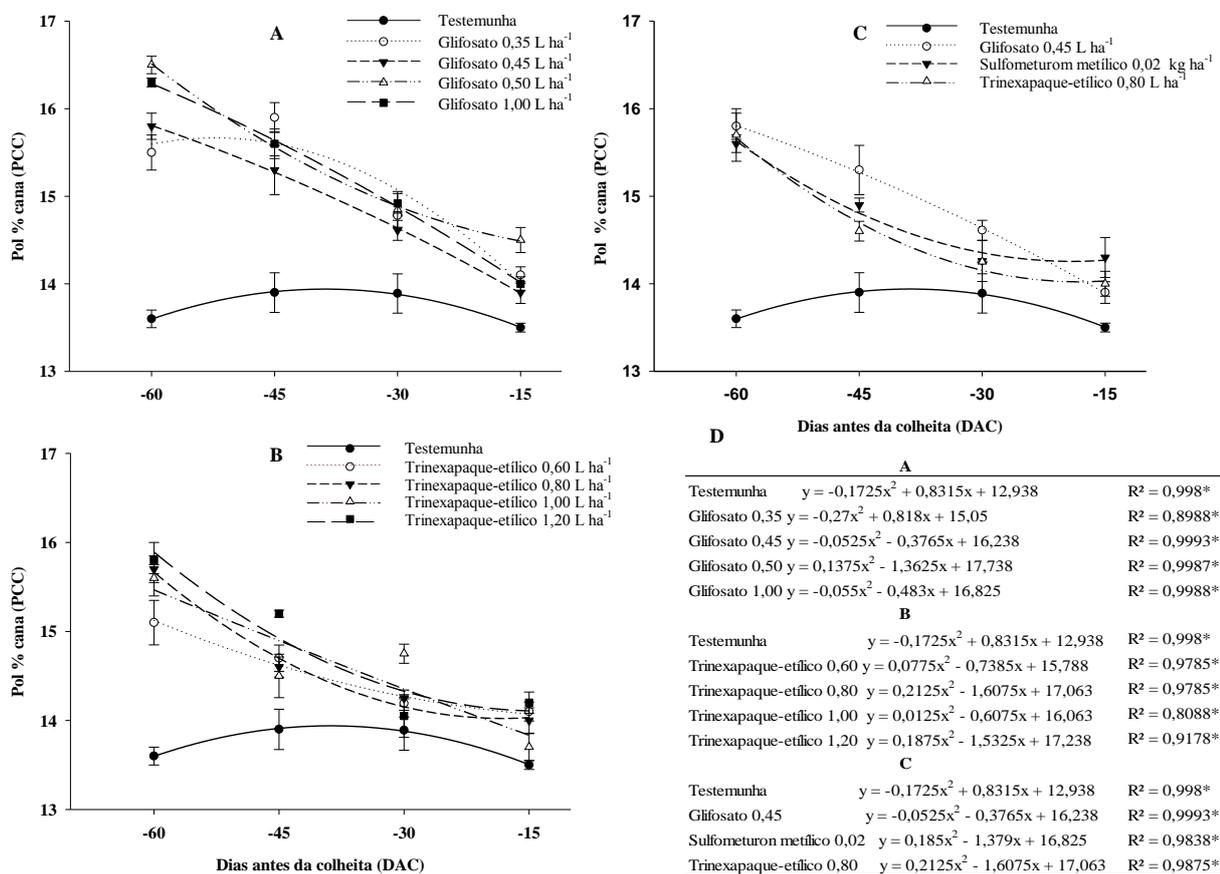
Neste estudo, as maiores doses de trinexapaque-etílico proporcionaram maior ATR, no entanto com valores menores quando comparados com o glifosato a 60 DAC. Orgeron et al. (2011) e van Heerden et al. (2014; 2015) indicam que trinexapaque-etílico pode aumentar numericamente o ATR através de um duplo mecanismo de ação envolvendo restrição de alongamento dos entrenós e crescimento das folhas (área foliar).

4.1.1.2 Pol % cana (PCC)

Pelos resultados analisados para pol% cana nas épocas de aplicação, observou-se que os tratamentos com doses de glifosato apresentaram interação entre T e DAC ($p < 0,0001$) e houve incremento do teor de pol% cana com o decorrer do tempo (Figura 4A), sendo que os valores de pol% cana foram ajustados a modelos quadráticos (Figura 4 D).

Na época de aplicação de 15 DAC, todos os tratamentos apresentaram incremento no teor de pol% cana em relação à testemunha. Com glifosato 0,50 L ha⁻¹ houve a maior diferença com 7,3% de ganho quando comparado à testemunha, seguido de glifosato 0,35; 0,45 e 1,00 L ha⁻¹, com ganhos de 4,2%, 3,4% e 3,0%, respectivamente, sem apresentar diferenças entre eles. Aos 30 DAC todos os tratamentos tiveram o mesmo comportamento, mas superaram a testemunha na ordem de 7,4% a 5,2% (Figura 4A).

Figura 4 - Pol% cana (PCC), em função da aplicação de A) doses de glifosato, B) doses de trinexapaque-etílico, C) maturadores em doses recomendadas em diferentes épocas antes da colheita, e D) equações de ajustes matemáticos. Igaráçu de Tietê/SP, 2015. * = significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns = não significativo.



Aos 45 DAC todos os tratamentos superaram a testemunha, quando glifosato nas doses de 0,35 L ha⁻¹, 0,50 e 1,00 L ha⁻¹ foram similares estatisticamente, mas superaram a testemunha em 14,4%, 12,4 e 12,2%, respectivamente, seguido de glifosato 0,45 L ha⁻¹ com aumento de 9,9% em relação à testemunha.

Com a aplicação aos 60 DAC, todos os tratamentos superaram a testemunha, quando glifosato nas doses de 0,50 e 1,00 L ha⁻¹ aumentaram em 21% e 19,4%, respectivamente, mas sem diferenças entre eles, seguidos de glifosato 0,45 e 0,35 L ha⁻¹, com aumentos de 16% e 13,95%, respectivamente, quando comparados à testemunha, no entanto sem diferenças significativas entre eles. O padrão dos resultados indica que à medida que foi mais longo o período de ação dos produtos, maior número de dias para maturação (60 DAC) após a aplicação dos tratamentos, houve maior incremento do teor de pol% cana, e antecipando a maturação em relação à testemunha entre 27 e 24 dias.

A média dos valores de pol% cana em função do tempo indicou que houve menor incremento no acúmulo à medida que a aplicação foi mais próxima da colheita, provavelmente devido ao menor tempo de ação dos produtos e à redução da temperatura no período, especialmente a temperatura mínima (16°C) (Figura 1A). Para o tratamento glifosato 0,35 L o maior acúmulo de pol% cana foi a 45 DAC (15,9%), significando 20% acima em relação a 15 DAC, no entanto, foi similar estaticamente a 60 DAC.

Para o caso de glifosato 0,45 L ha⁻¹ foi o mesmo comportamento, com 13,5% de incremento em relação a 15 DAC, já para o tratamento glifosato 0,50 L ha⁻¹ o maior acúmulo foi aos 60 DAC, com 13,4% de aumento em relação aos 15 DAC, e para glifosato 1,00 L ha⁻¹ houve incremento de 16,2% dos 15 DAC até 60 DAC. No entanto, a testemunha não apresentou incremento em nenhuma época, mas foi observada degradação dos açúcares, provavelmente pela alta umidade no solo devido à chuva acumulada no período avaliado (Figura 1A). Apesar de observado anteriormente, tanto a testemunha quanto os tratamentos com aplicação alcançaram o teor de pol % mínimo de 13 % de sacarose recomendado para industrialização da cana-de-açúcar (DEUBER, 1988), independente da data de aplicação (DAC). O padrão dos resultados de pol% cana foram explicados por meio do coeficiente de determinação (R²) em que os valores oscilaram entre 0,8988 a 0,9993 (Figura 3D).

Para os tratamentos com trinexapaque-etílico observou-se interação entre T e DAC (p<0,0001) e houve incremento do teor de pol% cana com o decorrer do tempo (Figura 3B), com os valores de pol% cana ajustados por modelos quadráticos (Figura 4D).

Para a época de aplicação de 15 DAC, houve diferença entre os tratamentos, quando trinexapaque-etílico 1,20; 0,60 e 0,80 L ha⁻¹ foram superiores à testemunha

em 7%, 4,1% e 3,4%, respectivamente, seguidos pelo tratamento trinexapaque-etílico 1,00 L ha⁻¹ com 1,4% acima da testemunha.

Na época de 30 DAC nenhum tratamento com trinexapaque-etílico glifosato superou a testemunha (Figura 4B).

Para a época de aplicação de 45 DAC todos os tratamentos superaram a testemunha, no entanto trinexapaque-etílico nas doses de 1,20; 0,60 e 0,80 L ha⁻¹ superaram em 8,2%, 6,0% e 4,9%, respectivamente, seguido de trinexapaque-etílico a 1,00 L ha⁻¹ com 3,9% (Figura 4B).

Para a época de aplicação de 60 DAC todos tratamentos superaram a testemunha, em que trinexapaque-etílico nas doses de 1,20; 0,80 e 1,00 L ha⁻¹ superaram em 13,6%, 15,5% e 14,5%, respectivamente, seguido de trinexapaque-etílico 0,60 L ha⁻¹ em 11,2% (Figura 4B).

Em média os tratamentos aplicados alcançaram seu maior teor de pol% cana entre 45 e 60 DAC, superando a testemunha, em que com trinexapaque-etílico 0,60 L ha⁻¹ foi observado menor incremento, 4,24% aos 45 DAC. No entanto, trinexapaque-etílico nas doses de 1,20; 0,80 e 1,00 L ha⁻¹ incrementaram o teor de pol% cana em 10,74%, 12,35% e 13,62%, respectivamente, na época de aplicação de 60 DAC. Na testemunha não houve significância de incremento no teor de pol% cana, ao contrário, houve redução aos 60 DAC. O padrão dos resultados de Pol% cana foram explicados por meio do coeficiente de determinação (R²) em que os valores oscilaram entre 0,8088 a 0,998 (Figura 4D).

Os tratamentos com glifosato, sulfometurom-metílico e trinexapaque-etílico nas doses comerciais apresentaram interação entre T e DAC ($p < 0,0001$) e houve incremento do teor de pol% cana com o decorrer do tempo (Figura 4C), em que os valores foram ajustados por modelos quadráticos (Figura 4D).

Na época de aplicação de 15 DAC todos os tratamentos superaram a testemunha, mas sem diferenças entre eles. Os tratamentos sulfometurom-metílico 0,02 kg, trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹ e glifosato 0,45 L ha⁻¹ incrementaram em 5,8%, 3,4% e 3,0% respectivamente, em relação à testemunha.

Já para a época de aplicação de 30 DAC os tratamentos incrementaram o teor de pol% cana em relação à testemunha, quando o glifosato 0,45 L ha⁻¹, o sulfometurom- metílico 0,02 kg ha⁻¹ e o trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹ a superaram em 5,2%, 2,7% e 2,6%, respectivamente.

Na época de aplicação 45 DAC os tratamentos glifosato 0,45 L ha⁻¹, sulfometurom-metílico 0,02 kg ha⁻¹ e trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹ aumentaram o teor de pol% cana em 9,9%, 7,3% e 4,9%, respectivamente, em relação à testemunha.

Na época de aplicação de 60 DAC, todos os tratamentos superaram a testemunha, sem apresentar diferenças entre eles. Os tratamentos glifosato 0,45 L, trinexapaque-etílico 0,80 L e sulfometurom-metílico 0,02 kg incrementaram a pol% cana em 16,3%, 15,5% e 14,5%, respectivamente. Marques et al. (2011), Meschede et al. (2009) e Viana et al. (2007) também observaram que glifosato nas doses de 0,45 ou 0,40 L ha⁻¹ foram as melhores para ganhos na maturação em diferentes variedades de cana, tanto no início quanto no final da safra aos 60 DAA.

Em média os tratamentos acumularam o maior teor de pol% cana entre 45 e 60 DAC, quando glifosato 0,45 L ha⁻¹ incrementou em 13,54% da época de 15 para 45 DAC, sem diferença para a época de 60 DAC. Trinexapaque-etílico 0,8 L ha⁻¹ e sulfometurom-metílico 0,02 kg ha⁻¹ aumentaram em 12,4% e 8,8%, respectivamente, o teor de pol% cana, enquanto a testemunha incrementou em 2,8%, sem significância entre as épocas de aplicação. Todos os tratamentos apresentaram equações com ajustes de R² na ordem 0,9838 até 0,9993 (Figura 4D).

De maneira geral, para a variável pol% cana (PCC) a tendência de respostas foi muito similar a de ATR, em que houve interação entre tratamentos e DAC (p<0,001). Todos os tratamentos aplicados superaram a testemunha. Importante ressaltar que o tratamento com glifosato foi superior no teor de pol% cana na maioria das épocas de aplicação (DAC) (Figuras 4A, C). O desempenho dos maturadores em cada época aplicada foi variável. De fato, Leite et al. (2009) relataram que a eficiência agrônômica dos maturadores depende da época de aplicação, da condição climática e característica genética da variedade.

Os resultados deste estudo são confirmados por Oliveira Filho et al. (2016), que avaliou diferentes épocas de colheita após a aplicação de maturador, e encontrou as melhores épocas de colheita entre 60 e 120 DAA, com melhor qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. Do mesmo modo, Silva e Caputo (2012) relataram que para obter melhores resultados, os maturadores devem ser aplicados entre 60 e 90 DAC. Também Caputo et al. (2008), avaliando diferentes maturadores e genótipos, encontraram que os maturadores melhoraram a qualidade da matéria-prima entre 42 e 126 DAA, dependendo do produto e genótipo.

De forma geral, o desempenho dos maturadores na variável pol% cana foi variável, as doses de glifosato proporcionaram resposta mais rápida em relação aos demais tratamentos, provavelmente devido ao mecanismo de ação de cada produto. De acordo com Siqueira (2009; 2014), com glifosato pode-se obter de 15 a 18 dias de antecipação da colheita, confirmando os resultados deste estudo. Karmollachaab et al. (2015) encontraram aos 40 DAA de glifosato incremento de pol%, mas não indicaram o incremento do mesmo, e Silva (2012) encontrou ganhos de 12% em pol% em relação à testemunha quando aplicou glifosato, trinexapac e sulfometurom-metílico aos 40 DAA. Caputo et al. (2008) reportaram antecipação da colheita de cana-de-açúcar com sulfometurom-metílico em 21 dias e Leite et al. (2009) em 25 dias com trinexapaque-etílico.

Por outro lado é importante ressaltar que houve influência das condições climáticas, principalmente da precipitação e umidade residual no solo. Estas variáveis influenciaram a maturação natural, em que 30 dias antes da primeira aplicação (-60 DAC) dos maturadores houve acúmulo de 288 mm de chuva, o que estimulou o crescimento da planta e retardou o início da fase de maturação natural da cana-de-açúcar (Figura 1A). Este comportamento confirma o que foi observado por Cardozo et al. (2015), por meio da modelação da maturação da cana em função do acúmulo de chuva, concluíram que o acúmulo de chuva durante 120 dias antes da colheita tem influência sobre as variáveis tecnológicas nas variedades precoces, médias e tardias. A medida que há mais chuva antes da fase de maturação ocorre redução de sacarose no caldo.

De acordo com Siqueira (2009), a redução da precipitação ajuda a maturação natural e nestas condições os maturadores têm menor influência na antecipação da colheita. O autor concluiu que os maturadores foram mais eficientes em antecipar a maturação na época de chuva, tal como aconteceu neste estudo. Os maturadores atuam em acelerar o processo ou mecanismo de síntese, translocação, armazenamento rápido, acúmulo e maior extração da sacarose, evitando perdas. Segundo Ayele et al. (2015), as maiores perdas de sacarose são encontradas no início e final da safra, sendo a temperatura e umidade residual as variáveis de maior influência no processo de maturação. Também Silva (2012), avaliando maturadores no início da safra, indicou que teores de pol ficaram abaixo do ideal (13%) em diferentes safras avaliadas por causa da chuva e temperatura.

Os resultados confirmam o mencionado por Solomon et al. (2001), que indicaram que os maturadores podem incrementar a maturação através do incremento de pol% em 0,2 até 1,0 unidade, sobretudo em condições desfavoráveis à maturação natural.

4.1.1.3 Açúcares redutores (AR)

Para os tratamentos com diferentes doses de glifosato houve interação entre T e DAC ($p=0,0045$), havendo decréscimo dos valores de açúcares redutores (AR) com o decorrer do tempo sob todas as doses (Figura 5A). Os valores dos tratamentos foram ajustados a modelos quadráticos negativos com suas respectivas equações matemáticas (Figura 5D).

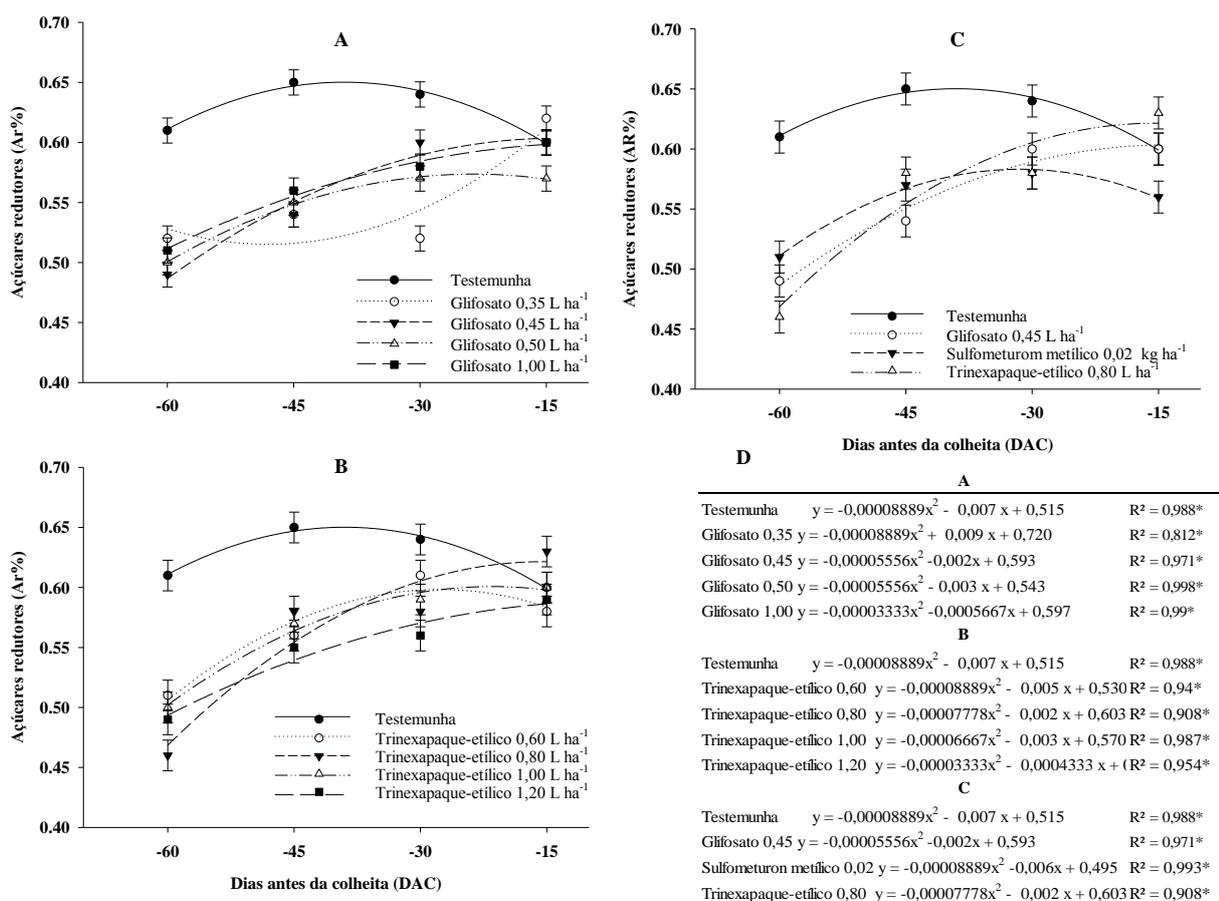
Com relação a época de aplicação de 15 DAC, constatou-se que os tratamentos não apresentaram diferenças no teor de AR% cana e os valores oscilaram entre 0,62 a 0,57% (Figura 5A), indicando, provavelmente, efeito do clima na maturação natural e menor efeito das doses de glifosato aplicadas neste curto intervalo de maturação.

Já para os 30 DAC houve redução de AR sob todas as doses de glifosato. Com glifosato $0,35 \text{ L ha}^{-1}$ houve a maior redução, de 18,8%, seguido de glifosato 0,45; 1,00; e $0,50 \text{ L ha}^{-1}$, que reduziram AR em 6,3%, 10,9% e 10,3%, respectivamente, em relação à testemunha (Figura 5A). Siqueira (2014) também encontrou redução de AR aos 30 DAA após a aplicação de glifosato.

Com aplicação dos tratamentos com glifosato aos 45 DAC todas as doses superaram a testemunha, na faixa de 13,8% (glifosato 1,00 L) até 16,9% (glifosato $0,35 \text{ L}$) (Figura 4A). A redução de AR indicou a diminuição de crescimento da planta, e aumento no conteúdo de sacarose na planta, segundo Hagos et al. (2014) sob estresse a biomassa da planta prefere armazenar a sacarose em lugar de produzir AR ou não açúcares (Fibra), estresse leve acelera a qualidade da matéria prima durante o período da maturação (INMAN-BAMBER et al. 1999) por tanto houve incremento da qualidade da matéria-prima, principalmente com reflexo na pureza do caldo, aumentando a eficiência na recuperação da sacarose na usina. De acordo com Viana et al. (2015b) o maior efeito dos maturadores ocorre no terço superior, portanto o processo de maturação ocorreu na testemunha, mas com a aplicação dos maturadores, principalmente com glifosato, houve acelerado acúmulo de sacarose,

indicando ser uma ferramenta ideal para início da safra na determinação de AR e acúmulo de ATR como indicador do processo de maturação.

Figura 5 - Açúcares redutores (AR) em função da aplicação de A) doses de glifosato, B) doses de trinexapaque-etílico, C) maturadores em doses recomendadas em diferentes épocas antes da colheita, e D) equações de ajustes matemáticos. Igarauçu do Tietê/SP, 2015. * = significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns = não significativo. Cada barra indica o valor médio de quatro repetições \pm desvio-padrão.



Na aplicação aos 60 DAC, todos os tratamentos com diferentes doses de glifosato foram inferiores à testemunha, com redução de 14,8% (glifosato a 0,35 L ha⁻¹) a 19,7% (glifosato a 0,45 L ha⁻¹) (Figura 5A).

Os resultados indicaram que entre os períodos de aplicação, à medida que o intervalo entre a aplicação e a colheita foi maior, isto é 60 DAC, houve maior redução dos AR, entretanto, esses resultados tiveram influência da dose aplicada. No caso de glifosato a 0,35 e 0,45 L ha⁻¹, houve significativa redução de 16% e 18,3% a partir dos 30 DAC, porém sem apresentar diferenças aos 60 DAC. Para glifosato a 0,50 L ha⁻¹ houve redução a partir dos 45 DAC, com maior redução aos 60 DAC, representando

12,3%, enquanto que para glifosato a $1,00 \text{ L ha}^{-1}$ a maior redução foi aos 60 DAC com 15% de redução em relação a 15 DAC. No caso da testemunha não houve mudança com o decorrer das aplicações. Os resultados de redução de AR nas diferentes épocas de aplicação foram explicados pelo coeficiente de determinação (R^2), em que os valores oscilaram entre 0,812 a 0,998 (Figura 5D).

Para os tratamentos de trinexapaque-etílico, houve interação entre T e DAA ($p=0,0017$) e os tratamentos apresentaram ajuste entre AR e DAC (Figura 5B), em que os valores dos tratamentos foram ajustados de forma quadrática negativa (Figura 4D).

Para a época de 15 DAC não houve significância na redução dos valores de AR entre os tratamentos, indicando que o período foi curto para que houvesse efeito das diferentes doses de trinexapaque-etílico.

Com maior período de ação do produto nas diferentes doses, isto é, aos 30 DAC, as doses de trinexapaque-etílico a $1,20$; $0,80$; e $1,00 \text{ L ha}^{-1}$ reduziram o AR em 12,5%, 9,3% e 7,8%, respectivamente, em relação à testemunha.

Para a aplicação aos 45 DAC, todas as doses de trinexapaque-etílico foram eficazes em reduzir os açúcares redutores entre 10,8% (trinexapaque-etílico $0,8 \text{ L ha}^{-1}$) e 15,4% (trinexapaque-etílico $1,2 \text{ L ha}^{-1}$).

Todas as doses de trinexapaque-etílico apresentaram o maior decréscimo de AR com aplicação aos 45 DAC. Enquanto à época de 60 DAC todos os tratamentos reduziram os AR, sendo trinexapaque-etílico $0,8 \text{ L ha}^{-1}$ que reduziu 24,6% em relação à testemunha, seguido de trinexapaque-etílico $0,6$; $1,00$; e $1,20 \text{ L ha}^{-1}$ com 16,4%, 18,0% e 18%, respectivamente, em relação à testemunha.

No geral, os tratamentos apresentaram redução do AR com o decorrer do tempo, indicando correlação entre as variáveis. Trinexapaque-etílico $0,60 \text{ L ha}^{-1}$ reduziu AR a partir dos 45 DAC, sendo a maior redução, na ordem de 12,1%, aos 60 DAC em relação à aplicação aos 15 DAC. Para trinexapaque-etílico $0,80 \text{ L ha}^{-1}$, foi observada redução no AR a partir da aplicação aos 30 DAC, que aos 60 DAC houve 27% de redução em relação a 15 DAC. Já para trinexapaque-etílico nas doses de $1,00$ e $1,20 \text{ L ha}^{-1}$ a redução foi a partir de 45 DAC, com maior redução aos 60 DAC, representando 16,7% e 17% de decréscimo, respectivamente. E com relação à testemunha, não houve variação nas diferentes épocas de aplicação. Os resultados de redução de AR nas diferentes épocas de aplicação foram explicados pelo

coeficiente de determinação (R^2), onde os valores oscilaram entre 0,908 a 0,988 (Figura 5D).

Com relação aos tratamentos, com doses recomendadas (comerciais) de glifosato, trinexapaque-etílico e sulfometurom-metílico houve interação entre T e DAC ($p=0,0034$) (Figura 5C). Os tratamentos apresentaram correlação entre AR e DAC e os resultados foram ajustados de forma quadrática negativa com suas respectivas equações matemáticas (Figura 5D).

Na época de aplicação de 15 DAC não houve diferenças significativas entre os tratamentos, e os valores oscilaram entre 0,63 a 0,56% (Figura 5C).

Em relação à época de aplicação de 30 DAC, somente foi observada redução de AR sob o tratamento sulfometurom-metílico a $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$, na ordem de 9,4%, enquanto os demais tratamentos foram similares à testemunha.

Já para a época de aplicação aos 45 DAC, todos os tratamentos aplicados reduziram o AR na faixa de 17% a 10,8%.

As aplicações dos tratamentos efetuadas aos 60 DAC resultaram no mesmo desempenho que da época de aplicação de 45 DAC, em que os valores oscilaram entre 24,6% a 16,4% de redução de AR em relação à testemunha.

De modo geral, houve redução dos teores de AR sob os tratamentos em função do tempo. O glifosato $0,45 \text{ L ha}^{-1}$ e o sulfometurom-metílico $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ apresentaram maior redução aos 60 DAC, com 18,3% e 8,9%, respectivamente, em relação a 15 DAC. Para trinexapaque-etílico $0,80 \text{ L ha}^{-1}$, a redução iniciou-se a partir dos 30 DAC, sendo 60 DAC quando houve a maior redução, 27% de AR, enquanto para a testemunha não houve redução ao longo do tempo. Os resultados de redução de AR nas diferentes épocas de aplicação foram explicados pelo coeficiente de determinação (R^2), em que os valores oscilaram entre 0,908 a 0,993 (Figura 5D).

Em resumo, todos os maturadores aplicados em diferentes épocas reduziram AR, porém em diferentes magnitudes, a partir da época de 30 DAC. Nossos resultados são semelhantes aos obtidos por Siqueira (2014) e Karmollachaab et al. (2015), que encontraram redução de AR a partir de 30 e 45 DAA, avaliando trinexapaque-etílico $0,8 \text{ L ha}^{-1}$, sulfometurom-metílico a $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ e glifosato a $0,4 \text{ L ha}^{-1}$. No entanto a resposta variou de acordo com a época aplicada. Segundo Siqueira (2009), avaliando os AR no terço superior do colmo com os mesmos maturadores utilizados neste estudo, houve redução dos valores nas diferentes épocas avaliadas, no entanto a magnitude da redução variou em duas safras.

Segundo Silva (2012), avaliando maturadores encontrou redução de AR para sulfometurom-metílico e trinexapaque-etílico, mas não para glifosato aos 40 DAA, no entanto em outro estudo Karmollachaab et al. (2015) reportaram 52% de redução de AR pela aplicação de glifosato 40 dias antes da colheita. E o autor postulou que quando existe maior redução de AR deve se ao fato de maior acúmulo de sacarose e redução do ritmo de crescimento vegetativo, neste estudo o teor de AR para a testemunha foi decrescente, mas superiores em relação aos tratamentos aplicados em cada amostragem (DAC).

4.1.1.4. Pureza do caldo (%)

A pureza do caldo foi afetada pela interação entre T e DAC ($p=0,0093$) nos tratamentos com doses de glifosato, havendo incremento dos valores no decorrer do tempo (Figura 6A), confirmando a aceleração do processo de maturação em relação à testemunha. Os valores de pureza do caldo sob doses de glifosato e maturação natural foram ajustados a modelos quadráticos com suas respectivas equações matemáticas (Figura 6D).

Para os 15 DAC, os tratamentos glifosato a 0,50; 0,45; e 0,35 L ha⁻¹ foram similares estatisticamente, mas superiores à testemunha, na ordem de 1,3%, 1,3% e 0,4%, respectivamente (Figura 6A).

Na época de aplicação aos 30 DAC, todos os tratamentos superaram a testemunha, em que glifosato 0,35 L proporcionou o maior incremento de 4,8%, e os tratamentos glifosato 0,50; 0,45; e 1,00 L ha⁻¹ aumentaram em 2,9%, 1,7% e 1,4%, respectivamente, em relação à testemunha, mas sem diferenças estatísticas entre eles (Figura 6A).

Em relação à época de 45 DAC, todos os tratamentos e doses de glifosato superaram a testemunha, com performance estatisticamente similar entre eles, em que os valores oscilaram entre 4,4% e 3,4% (Figura 6A).

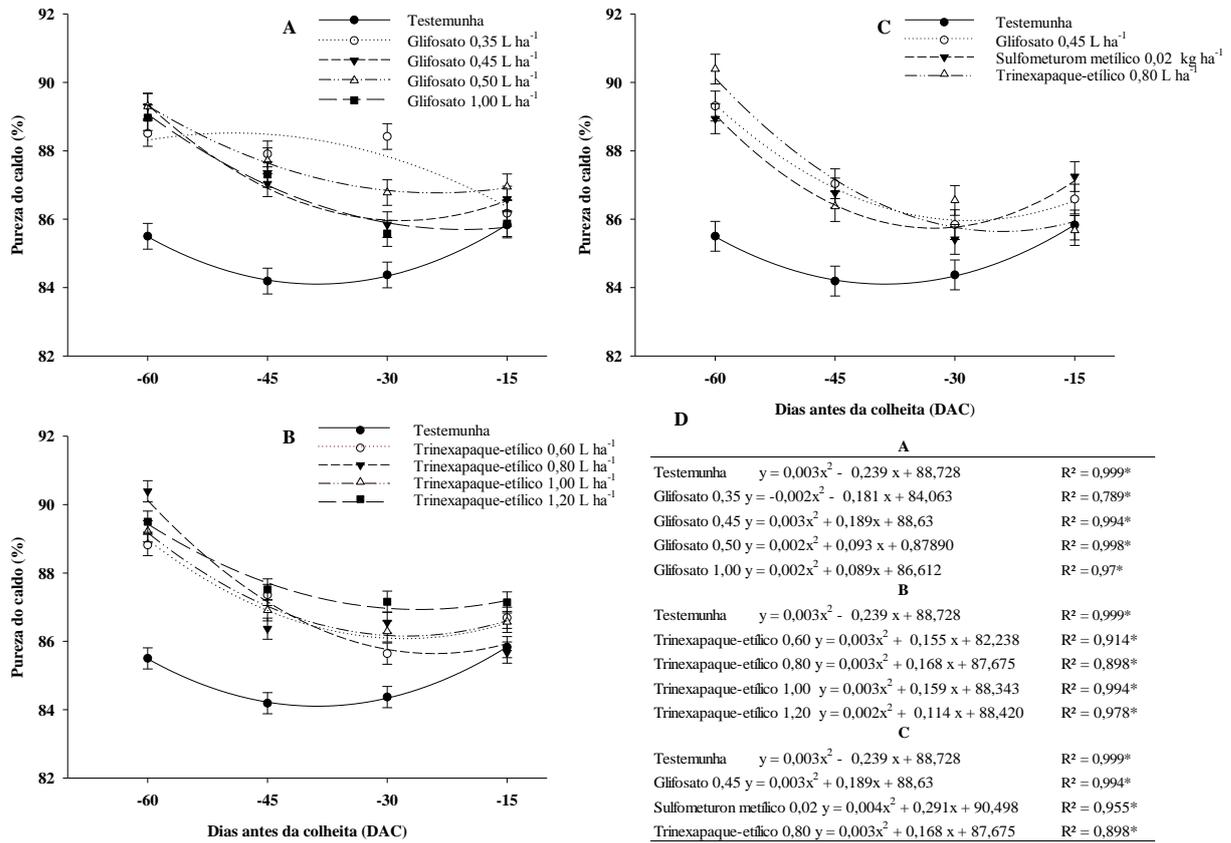
E, na época de aplicação, aos 60 DAC, os tratamentos e doses de glifosato foram similares estatisticamente, mas superiores à testemunha. Os incrementos variaram entre 4,5% (glifosato 0,45 L ha⁻¹) até 3,5% (glifosato 0,35 L ha⁻¹) (Figura 6A).

De modo geral, os tratamentos incrementaram a pureza do caldo com o decorrer do tempo. Glifosato a 0,35 L ha⁻¹ incrementou a pureza a partir dos 30 DAC, alcançando seu maior incremento aos 60 DAC, com 2,7% em relação a 15 DAC, mas

sem significância entre as épocas de 30 e 45 DAC. Já para glifosato a $0,45 \text{ L ha}^{-1}$ aos 60 DAC houve 3,2% de incremento em relação aos 15 DAC, e as demais épocas foram estatisticamente similares. Para glifosato a $0,50 \text{ L ha}^{-1}$, o maior incremento foi aos 60 DAC com 2,7%, seguido de 45 DAC com 0,87%. No caso de glifosato $1,0 \text{ L ha}^{-1}$, o maior teor de pureza do caldo foi observado aos 45 e 60 DAC, com 3,6 e 1,7%, respectivamente. Na testemunha praticamente não foi observada alteração no decorrer do tempo, em que os valores permaneceram abaixo dos tratamentos com aplicação de glifosato. Os resultados de incremento da pureza do caldo nas diferentes épocas de aplicação foram explicados pelo coeficiente de determinação (R^2), em que os valores oscilaram entre 0,789 a 0,999 (Figura 6D).

Para os tratamentos e doses com trinexapaque-etílico houve interação entre T e DAC ($p=0,0017$), em que foi observado incremento dos valores de pureza do caldo com o decorrer do tempo sob todas as doses em relação à testemunha (Figura 6B), confirmando a aceleração no processo de maturação. Os valores de pureza do caldo nos tratamentos foram ajustados por modelos quadráticos com suas respectivas equações matemáticas (Figura 6D).

Figura 6 - Pureza do caldo (%) em função da aplicação de A) doses de glifosato, B) doses de trinexapaque-etílico, C) maturadores em doses recomendadas em diferentes épocas antes da colheita, e D) equações de ajustes matemáticos. Igarapu do Tietê/SP, 2015. * = significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns = não significativo. Cada barra indica o valor médio de quatro repetições \pm desvio-padrão.



Na época de aplicação aos 15 DAC, os tratamentos com trinexapaque-etílico 1,20; 0,60; e 1,0 L ha⁻¹ foram estatisticamente similares, mas superiores a testemunha, com incrementos na ordem de 1,5%, 1,0% e 0,9%, respectivamente (Figura 6B).

Para a época de aplicação aos 30 DAC, os tratamentos trinexapaque-etílico 1,20; 0,80; e 1,0 L ha⁻¹ não diferiram entre si, mas foram superiores à testemunha, com incrementos na ordem de 3,3%, 2,6% e 2,3%, respectivamente, seguido de trinexapaque-etílico 0,60 L ha⁻¹ com incremento de 1,5% (Figura 6B).

Já aos 45 DAA, todos os tratamentos de doses superaram a testemunha, sem apresentar diferenças entre eles, em que os valores oscilaram de 3,9% até 2,6% (Figura 6B).

Aos 60 DAC foi observado no tratamento com trinexapaque-etílico (0,80 L ha⁻¹), o maior aumento em relação à testemunha, 5,8%, enquanto que nas doses de

trinexapaque-etílico 0,60; 1,20 e 1,00 L ha⁻¹ os incrementos foram estatisticamente similares entre si e variaram de 3,9% a 4,4% superiores à testemunha (Figura 6B).

De maneira geral, os tratamentos apresentaram incrementos no decorrer do tempo em relação aos 15 DAC. Para o tratamento trinexapaque-etílico 0,60 L ha⁻¹ houve incremento aos 45 e 60 DAC, de 0,8% e 2,5%, respectivamente, sem diferenças estatísticas entre as duas épocas, enquanto que para trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹ o maior incremento foi aos 60 DAC com 5,5%. Já para trinexapaque-etílico 1,00 e 1,20 L ha⁻¹ os maiores incrementos foram aos 60 DAC com 3,1% e 2,7%, respectivamente. Os resultados de pureza do caldo (%) nas diferentes épocas de aplicação de trinexapaque-etílico foram explicados pelo coeficiente de determinação (R²), em que os valores oscilaram entre 0,908 a 0,988 (Figura 6D).

Para os tratamentos com doses recomendadas (comerciais) de glifosato, trinexapaque-etílico e sulfometurom-metílico houve interação entre T e DAC (p=0,0019) (Figura 6C). Houve incremento dos valores de pureza do caldo com o decorrer do tempo em todos os tratamentos em relação à testemunha, confirmando a aceleração no processo de maturação. Os valores de pureza do caldo sob os tratamentos maturadores e maturação natural foram ajustados por modelos quadráticos com suas respectivas equações matemáticas (Figura 6D).

Aos 15 DAC a pureza do caldo foi superior à testemunha nos tratamentos de sulfometurom-metílico a 0,02 kg ha⁻¹ e glifosato a 0,45 L ha⁻¹ na ordem de 1,7% e 0,9%, respectivamente (Figura 6C).

Já aos 30 DAC, todos os tratamentos foram superiores à testemunha, com incrementos na ordem de 2,6% a 1,7%, similar à época de 45 DAC, com incremento de 3,4% a 2,6%, respectivamente. No entanto, na época de aplicação de 60 DAC não houve diferenças entre os tratamentos aplicados, mas todos foram significativamente superiores à testemunha, com incrementos na faixa de 5,6% a 4,0%.

Glifosato a 0,45 L ha⁻¹, sulfometurom-metílico a 0,02 kg ha⁻¹ e trinexapaque-etílico a 0,80 L ha⁻¹ apresentaram maior pureza do caldo aos 60 DAC, com 3,14%, 1,9% e 5,5%, respectivamente, superior ao obtido aos 15 DAC. A testemunha não apresentou incremento significativo nas diferentes épocas de aplicação. Os valores de R² para cada um dos tratamentos associados com a épocas de aplicação foram significativos, oscilando valores de 0,890 a 0,999 (Figura 6D).

De maneira geral, todos os tratamentos incrementaram a pureza do caldo % nas diferentes doses e épocas de aplicação (DAC). O valor de pureza para início da

safra deve ser de 80% e de 85% com o decorrer na safra (FERNANDES, 1985 e RIPOLI; RIPOLI, 2004). Segundo as épocas de aplicação neste estudo quando foi aplicado mais próximo da colheita (15 DAC) houve redução do incremento de açúcar, este fenômeno deve-se ao processo gradativo da maturação natural da cana, em que os entrenós velhos possuem teores de sacarose superiores aos jovens (McCORMICK et al., 2008). Siqueira (2009) encontrou maior teor de pureza com glifosato 0,4 L ha⁻¹, no terço superior, quando comparado com os dois terços inferiores.

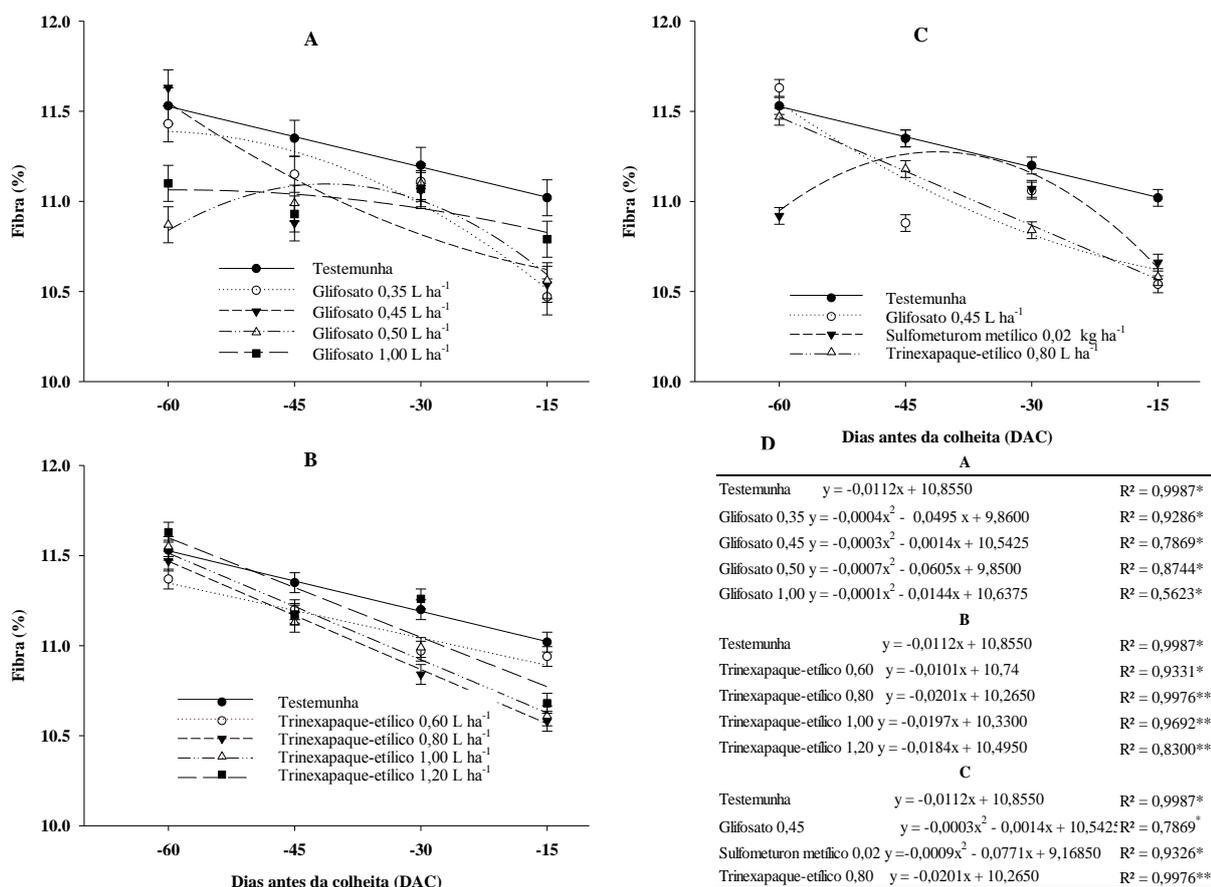
Também Siqueira (2009), avaliando trinexapaque-etílico 0,8 L ha⁻¹ na variedade RB855453 no início da safra, encontrou diferenças a partir dos 20 DAA, com diferenças de 15% em relação a testemunha.

Caputo et al. (2008), aplicando sulfometurom-metílico, encontraram diferenças no teor de pureza acima de 80% a 21 DAA em alguns cultivares, indicando que a resposta varia de acordo com o genótipo. Outra razão pelas diferenças no efeito é a pureza da planta no momento da aplicação pois, segundo van Heerden (2014), alguns maturadores podem ser aplicados quando a planta tem teor de pureza <75%, no entanto outros maturadores são capazes de maturar acima de teores de pureza de 80-85%, mas a resposta pode variar segundo o grau de maturidade da planta. Para este estudo iniciou-se com 76% de pureza na primeira data de aplicação (60 DAC), tendo resposta positiva em todas as épocas de aplicação, porém aos 15 DAC a pureza estava em 85,8% e ainda houve baixa temperatura mínima, 16°C (Figura 1), o que provavelmente influenciou a resposta aos maturadores.

4.1.1.5 Fibra (%) cana

Em relação aos tratamentos com doses de glifosato houve interação entre T e DAC ($p=0,0190$) para a variável fibra% cana (Figura 7A). Houve redução dos valores com o decorrer do tempo em todos os tratamentos e os resultados foram ajustados a modelos quadráticos para doses de glifosato e linear para testemunha (Figura 7D).

Figura 7 - Fibra (%) em função da aplicação de A) doses de glifosato, B) doses de trinexapaque-etílico, C) maturadores em doses recomendadas em diferentes épocas antes da colheita, e D) equações de ajustes matemáticos. Igarçu do Tietê/SP, 2015. * = significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns = não significativo. Cada barra indica o valor médio de quatro repetições \pm desvio-padrão.



Aos 15 DAC, todos os tratamentos com doses de glifosato, exceto 1,0 L ha⁻¹, reduziram a fibra% cana na faixa de 4,2% a 5% (Figura 7A). Já aos 30 DAC, não foram observadas diferenças e todos os tratamentos foram similares estatisticamente à testemunha, oscilando entre 11,2% (testemunha) a 11,1% (glifosato 0,45 L ha⁻¹). Desempenho similar foi observado aos 45 DAC, quando os tratamentos não diferiram da testemunha e os valores oscilaram entre 11,35% (testemunha) a 10,9% (glifosato 0,45 L ha⁻¹). Já aos 60 DAC, os tratamentos glifosato 1,0 e 0,50 L ha⁻¹ reduziram a fibra % cana em 3,7% a 5,7%, respectivamente, em relação à testemunha (Figura 7A).

A pequena resposta ou alteração no teor de fibra tanto aos 15 quanto aos 30 DAC, provavelmente, deve-se ao curto tempo entre aplicação dos maturadores e a colheita. Alguns autores já reportaram pouca resposta para fibra, por exemplo Viana

et al. (2015b) encontraram correlações pouco consistentes entre a aplicação de maturadores e as variáveis tecnológicas, enquanto Caputo et al. (2008) indicaram que os teores de fibra dependem do genótipo avaliado, neste caso a variedade RB966928 é de teor médio de fibra (RIDESA, 2010).

Os tratamentos apresentaram maior fibra% cana quando a aplicação foi feita com maior antecipação à colheita principalmente a 45 e 60 DAC. As doses de glifosato 0,35 e 0,45 L ha⁻¹ incrementaram em 9,2% e 10,3%, respectivamente, em relação aos 15 DAC. Já para glifosato 0,50; 1,0 L ha⁻¹ e testemunha não houve incrementos nas diferentes épocas de aplicação, sendo explicado pelo coeficiente de determinação, o qual variou entre 0,56 até 0,99 (Figura 7D). Porém os tratamentos alcançaram o valor mínimo recomendável pela indústria de 11,2%, segundo Ripoli e Ripoli (2004). Os resultados de fibra% cana nas diferentes épocas de aplicação foram explicados pelo coeficiente de determinação (R²), em que os valores oscilaram entre 0,721 a 0,997 (Figura 7D).

Para os tratamentos trinexapaque-etílico não houve interação entre T e DAA (p=0,5250) (Figura 7B). Houve redução dos valores com o decorrer do tempo em todos os tratamentos e os valores de fibra% cana foram ajustados a modelos lineares (Figura 7D).

Em média, os tratamentos trinexapaque-etílico a 0,80 e 1,0 L ha⁻¹ reduziram o teor de fibra em 2,3%, seguido por trinexapaque-etílico 0,6 L ha⁻¹ com redução de 1,33%. No tratamento trinexapaque-etílico 1,20 L ha⁻¹ foi observado resposta similar à testemunha (Figura 7B).

De maneira geral houve redução de fibra % cana à medida que trinexapaque-etílico foi aplicado mais próximo da colheita, devido provavelmente ao estado avançado de maturação da cana. Quando a aplicação foi aos 60 DAC houve maior conteúdo de fibra, em média com 11,5% e aos 15 DAC o valor médio foi de 10,8%, significando diferença de 6,9%. Os resultados de redução de fibra% cana nas diferentes épocas de aplicação foram explicados pelo coeficiente de determinação (R²), em que os valores oscilaram entre 0,914 a 0,995 (Figura 7D).

No caso dos tratamentos com os maturadores, incluindo sulfometuron-metílico, nas doses recomendadas (comerciais), houve interação entre T e DAC (p=0,0019) (Figura 7C). Os dados foram ajustados por modelos quadráticos para sulfometuron-metílico a 0,02 kg ha⁻¹ e glifosato a 0,45 L ha⁻¹ e lineares para testemunha e trinexapaque-etílico a 0,80 L ha⁻¹ (Figura 7D).

Aos 15 DAC, os tratamentos reduziram a fibra% cana na ordem de 3,3% a 6% quando comparados à testemunha. Já aos 30 DAC não houve diferença entre os tratamentos. Na época de 45 DAC somente o tratamento glifosato 0,45 L reduziu a fibra% cana em 4,1% em relação à testemunha, e o mesmo desempenho foi observado aos 60 DAC, em que somente no tratamento sulfometurom-metílico 0,02 kg foi observada redução, 6,1%, em relação à testemunha (Figura 7C).

Nas diferentes épocas de aplicação, os tratamentos glifosato 0,45 L ha⁻¹ e trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹ apresentaram maior incremento de fibra% cana aos 60 DAC, de 10,5% e 8,4%, respectivamente (Figura 7C). Já sob sulfometurom-metílico 0,02 kg ha⁻¹ e maturação natural (testemunha) não foi observada alteração no teor de fibra% cana. Os resultados de fibra nas diferentes épocas de aplicação foram explicados pelo coeficiente de determinação (R²), em que os valores oscilaram entre 0,961 a 0,995 (Figura 7D).

No geral houve redução de fibra% cana nas diferentes épocas de aplicação. A medida que a aplicação foi feita com maior antecipação à colheita maior foi o conteúdo de fibra % na planta, devido ao efeito dos maturadores no acúmulo de sacarosa ou pela maturação natural, já que segundo Hoia e Martincigh, (2013) o conteúdo de fibra depende do grau de maturação e idade da cana-de-açúcar, onde com o decorrer do tempo entando esses valores foram menores que a testemunha em todas as épocas aplicadas, possivelmente pelo rápido acúmulo de sacarosa nas células do parênquima, diminuindo o teor de fibra.

Os resultados deste estudo apresentaram redução de fibra % à medida que a aplicação foi realizada perto da colheita, no entanto trinexapaque-etílico apresentou instabilidade no efeito, como no caso de Siqueira (2014), aplicando trinexapaque-etílico na variedade RB855453 no início da safra, atingiu o valor mínimo (11,2%) aos 15 DAA e Silva (2012) não encontrou influência sobre fibra com trinexapaque-etílico.

No caso de sulfometurom-metílico 0,02 kg ha⁻¹, os dados deste estudo diferem dos dados de Silva (2012) que não encontrou influência deste ingrediente ativo sobre o teor de fibra, já Siqueira (2014) reportou, na variedade RB855453, cana-soca, incremento de fibra até os 50 DAA, no entanto os valores foram inferiores à testemunha, ou seja, não houve influência do maturador no teor de fibra %, havendo assim muita variabilidade nas respostas com esta molécula ao teor de fibra% cana, ou deve-se ao efeito do genótipo, segundo Caputo et al. (2008), a fibra é um atributo genético, o autor quando aplicou maturador sulfometurom-metílico em diferentes

genótipos, observou efeito tardio na variável fibra% com diferenças entre os genótipos.

A variação na redução do teor de fibra % com o decorrer do tempo (épocas de aplicação) podem ser explicadas de acordo com Hoang et al. (2016), no processo de maturação existe uma correlação negativa entre sacarose e fibra, isso devido à maior concentração de sacarose nos espaços intercelulares, lignificação de tecidos e diminuição de teor de água disponível (ZHU et al., 1997), além Hoia e Martincigh, (2013) o conteúdo de fibra depende do grau de maturação e idade da cana-de-açúcar, devido à partição de carbono na planta de cana-de-açúcar (GIBEAUT, 2000).

Em relação ao último ponto é importante mencionar que durante os 60 dias antes da aplicação houve 110 mm de precipitação e de temperatura mínima de 20°C que influíram no processo de acúmulo de açúcar e fibra (Figura 1A). Cardozo e Sentelhas (2013) indicam que a umidade do solo e temperatura do ar são as principais variáveis que influenciam na maturação, assim como também cana irrigada na fase de maturação pode alterar os níveis de fibra % (BARBOSA, 2015).

4.1.1.6 Brix% caldo

A variável Brix% teve efeito da interação entre T e DAC ($p < 0,0001$) sob os tratamentos com diferentes doses de glifosato (Figura 8A). Houve incremento dos teores de Brix com o decorrer do tempo para todos os tratamentos e os valores foram ajustados por modelos quadráticos com suas respectivas equações (Figura 8 D).

Aos 15 DAC, todos os tratamentos com doses de glifosato superaram a testemunha sob maturação natural, em que foi verificado que o tratamento glifosato 0,50 L ha⁻¹ proporcionou o maior valor de Brix%, com 5,4% superior à testemunha, e os demais tratamentos incrementaram em média 3,4% (Figura 8A).

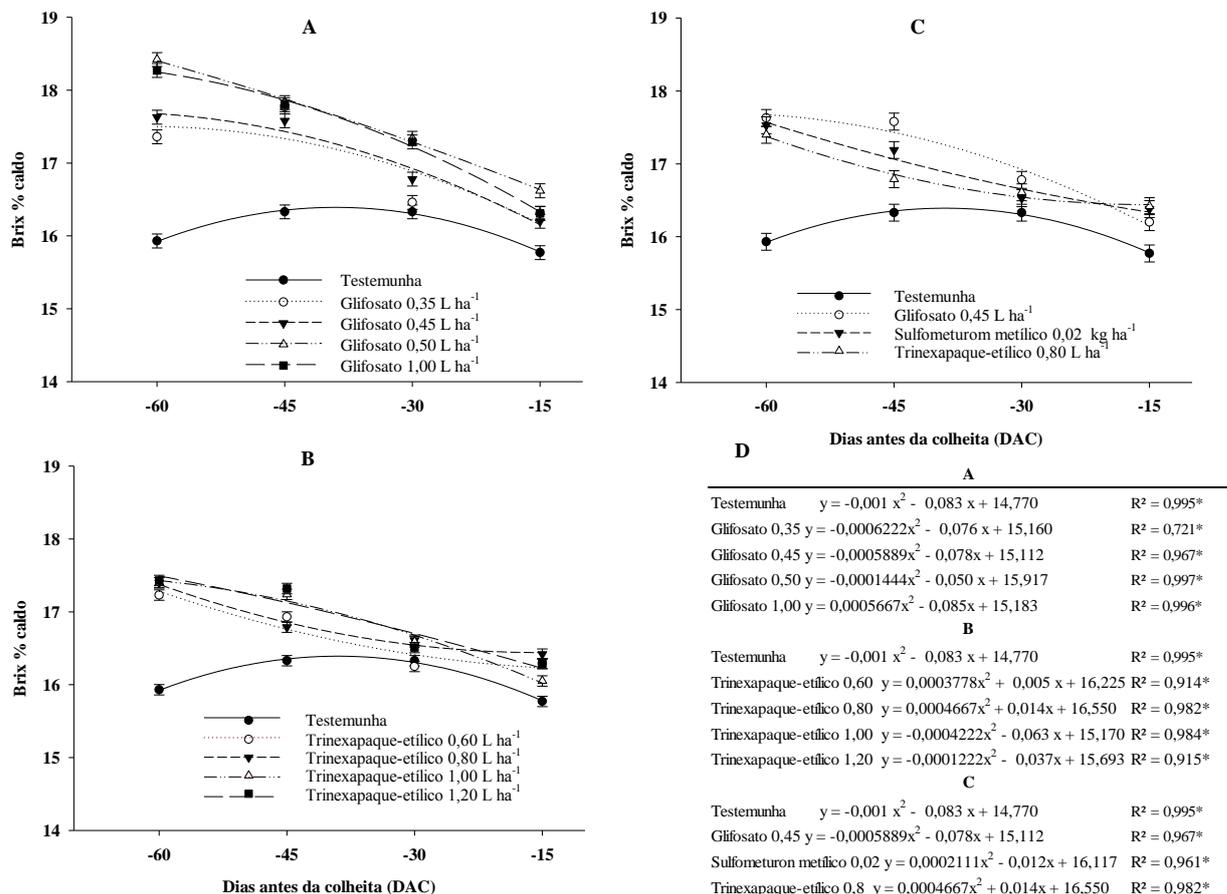
Já aos 30 DAC, todas as doses de glifosato superaram a testemunha, em que os maiores ganhos, 6,2% e 5,9%, foram observados nos tratamentos glifosato a 0,50 e 1,00 L ha⁻¹, respectivamente, seguidos dos tratamentos glifosato 0,45 e 0,35 L ha⁻¹ com 2,8% e 0,8% de ganhos em relação à testemunha, respectivamente (Figura 8A).

Aos 45 DAC, todos os tratamentos com glifosato não apresentaram diferenças estatísticas entre eles, mas foram superiores à testemunha, com incrementos no teor de Brix que variaram de 9,2% até 7,7% (Figura 8A).

Quando a época de aplicação foi 60 DAC, todos os tratamentos superaram a testemunha, no entanto foi verificado que os tratamentos glifosato a 0,50 e 1,0 L ha⁻¹ proporcionaram os maiores incrementos, sem diferenças estatísticas entre eles, na ordem de 15,7% e 14,7%, respectivamente, seguidos dos tratamentos glifosato 0,45 e 0,35 L ha⁻¹ que incrementaram o Brix% caldo em 10,7% e 9%, respectivamente (Figura 8A). É importante ressaltar que na época de 60 DAC foram encontradas as maiores porcentagens de incrementos de Brix% em relação às demais épocas, indicando que a aplicação do maturador glifosato com maior antecipação à colheita (60 DAC = 24/03/2015) melhorou esta variável.

Em média, os tratamentos apresentaram os maiores incrementos de Brix% quando houve maior intervalo entre a aplicação e a colheita, com exceção da testemunha, que apresentou o seu maior incremento de Brix% aos 30 e 45 DAC, na ordem de 3,6%. Os tratamentos de glifosato a 0,35 e 0,45 L ha⁻¹ apresentaram maior incremento na época de 60 DAC, mas significativamente menores que as doses a 0,50 e 1,0 L ha⁻¹. Por outro lado, aos 45 DAC não houve diferenças estatísticas entre todas as doses e os incrementos de glifosato 0,35 e 0,45 L ha⁻¹ foram na ordem de 9% e 8,8%, respectivamente. Para os tratamentos glifosato 0,50 e 1,0 L ha⁻¹ os maiores incrementos foram observados aos 60 DAC com 10,8% e 12,0%, respectivamente. Essas performances foram explicadas por meio do coeficiente de determinação (R²), em que os valores oscilaram de 0,720 a 0,997 (Figura 8D).

Figura 8 - Brix (%) em função da aplicação de A) doses de glifosato, B) doses de trinexapaque-etílico, C) maturadores em doses recomendadas em diferentes épocas antes da colheita, e D) Equações de ajustes matemáticos. Botucatu/SP, 2015. * = significativo ao nível de 5% de probabilidade. Cada barra indica o valor médio de quatro repetições \pm desvio-padrão.



Para os tratamentos com doses de trinexapaque-etílico houve interação entre T e DAC ($p < 0,0001$) sobre a variável Brix% (Figura 8B). Houve incremento dos teores de Brix% caldo com o decorrer do tempo em todos os tratamentos e os valores foram ajustados por modelos quadráticos com suas respectivas equações (Figura 8D).

Aos 15 DAC, todos os tratamentos superaram a testemunha, sendo que os maiores incrementos foram verificados com trinexapaque-etílico 0,80; 0,60 e 1,20 L ha⁻¹, nas proporções de 4,2%, 3,3%, 3,3%, respectivamente, seguido de trinexapaque-etílico 1,00 L com 1,8% acima da testemunha (Figura 8B).

Já aos 30 DAC não houve diferença entre os tratamentos (Figura 7B). Aos 45 DAC, todos os tratamentos com doses de trinexapaque-etílico foram superiores à

testemunha, em que as doses de trinexapaque-etílico 1,20 e 1,00 L ha⁻¹ superaram em 6,1% e 5,6%, respectivamente (Figura 8B).

Aos 60 DAC, não houve diferença significativa entre os tratamentos de doses com trinexapaque-etílico, mas foram maiores que a testemunha na ordem de 9,4% a 8,2% (Figura 8B).

Em média houve maior acúmulo de Brix% nas doses de trinexapaque-etílico aos 60 DAC, e a testemunha somente alcançou os maiores conteúdos de Brix% aos 30 e 45 DAC, com 16,3% e 16,3% respectivamente. Já para o tratamento trinexapaque-etílico a 0,60 L ha⁻¹ a 60 DAC, houve incremento de 5,8% em relação à época de 15 DAC, com incremento gradativo nas diferentes épocas de aplicação. Mesmo desempenho foi observado para o tratamento trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹, com incremento de 6% na época de 60 DAC, no entanto, as outras épocas foram similares estatisticamente. Para trinexapaque-etílico 1,00 e 1,20 L ha⁻¹ os maiores incrementos de Brix% foram aos 60 DAC, com 8,4% e 7%, respectivamente, em relação à época de 15 DAC, no entanto a época de 45 DAC foi estatisticamente similar em ambos tratamentos. Os ajustes dos resultados foram explicados por meio do coeficiente de determinação (R^2) que variou entre 0,91 e 0,99 (Figura 8D).

Para os tratamentos com sulfometurom-metílico a 0,02 kg ha⁻¹ ou doses recomendadas (comerciais) dos maturadores, incluindo sulfometurom-metílico, houve interação entre T e DAC ($p < 0,0001$) para a variável Brix% (Figura 8C). Houve incremento dos teores com o decorrer do tempo sob todos os tratamentos, inclusive testemunha, e os valores foram ajustados por modelos quadráticos com suas respectivas equações (Figura 8D).

Aos 15 DAC, todos os tratamentos superaram a testemunha, sem apresentar diferenças entre eles, onde os valores oscilaram entre 4,1% e 2,7% em relação à testemunha (Figura 8C). Já para 30 DAC não houve diferenças entre os tratamentos.

Para 45 DAC, todos os tratamentos apresentaram superioridade sobre a testemunha, no entanto glifosato 0,45 L apresentou o maior acúmulo de teor de Brix com 7,7%, seguido de sulfometurom-metílico 0,02 kg ha⁻¹ com 5,3% e trinexapaque-etílico com 2,8% em relação à testemunha (Figura 8C).

Quando a aplicação foi aos 60 DAC, todos os tratamentos superaram a testemunha, no entanto entre os tratamentos aplicados não houve diferença significativa. Os tratamentos incrementaram o Brix% na faixa de 10,7 a 9,2% (Figura 8C).

Em média os tratamentos apresentaram o maior incremento de Brix% aos 60 DAC. Para o tratamento glifosato a $0,45 \text{ L ha}^{-1}$ houve incremento de 8,8% em relação aos 15 DAC, no entanto não houve diferença aos 45 DAC. Para sulfometurom-metílico a $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ houve incremento de 7% e para trinexapaque-etílico $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ de 6%, já a testemunha alcançou o maior valor de Brix% de 3,6% aos 45 DAC, sem significância com 30 DAC. Os incrementos da variável Brix% no tempo foram explicados pelo coeficiente de determinação (R^2), os quais variaram de 0,961 a 0,995 (Figura 8D).

Os valores de Brix% caldo, de maneira geral sob todos os tratamentos, oscilaram entre 15,8% até 18,4%, indicando o acúmulo de sólidos solúveis no processo de maturação. De acordo com Fernandes (1985), a cana é considerada madura quando apresenta como mínimo 18% de Brix no início e 18,5% com o decorrer da safra. Viana (2015b), avaliando os efeitos da aplicação de glifosato $0,4 \text{ L ha}^{-1}$ sobre a maturação, encontrou ganhos na relação de índice de maturação (IM) determinado por Brix em todas as relações do colmo (ápice, médio e base) aos 44 e 65 DAA.

É importante mencionar que apesar da superioridade dos tratamentos sobre a testemunha, somente dois tratamentos superaram o valor ideal mínimo de 18% (glifosato $0,50$ e $1,00 \text{ L ha}^{-1}$) quando aplicados aos 60 DAC. O baixo teor se deve, provavelmente, às condições climáticas nesta época de aplicação, no momento da amostragem, onde a temperatura máxima alcançou 30°C , temperatura mínima de 20°C e precipitação de 100 mm acumulados de março-maio, 2015 (Figura 1), o que pode ter limitado o efeito maturador dos produtos, sobretudo com relação à testemunha sem aplicação, limitando o processo natural de maturação. Caputo et al. (2008), avaliando sulfometurom-metílico, encontraram decréscimos de Brix em genótipos, porém os autores atribuíram esse efeito à quantidade de precipitação durante a condução do experimento, diluindo o teor de sólidos solúveis na solução do caldo.

Incrementos nos valores de Brix% caldo são frequentemente relatados na literatura após a aplicação de maturadores. De acordo com Oliveira Filho et al. (2016), os maturadores sulfometurom-metílico, trinexapaque-etílico e glifosato, melhoraram o Brix em relação à testemunha, atingindo níveis acima de 13% aos 60 e 120 DAA, mas neste estudo houve estabilização para alguns tratamentos aos 45 e 60 DAA. Já Galdiano (2013), avaliando os mesmos maturadores deste estudo, encontrou que aplicações sequenciais (dois anos) melhoraram o teor de Brix, quando comparadas

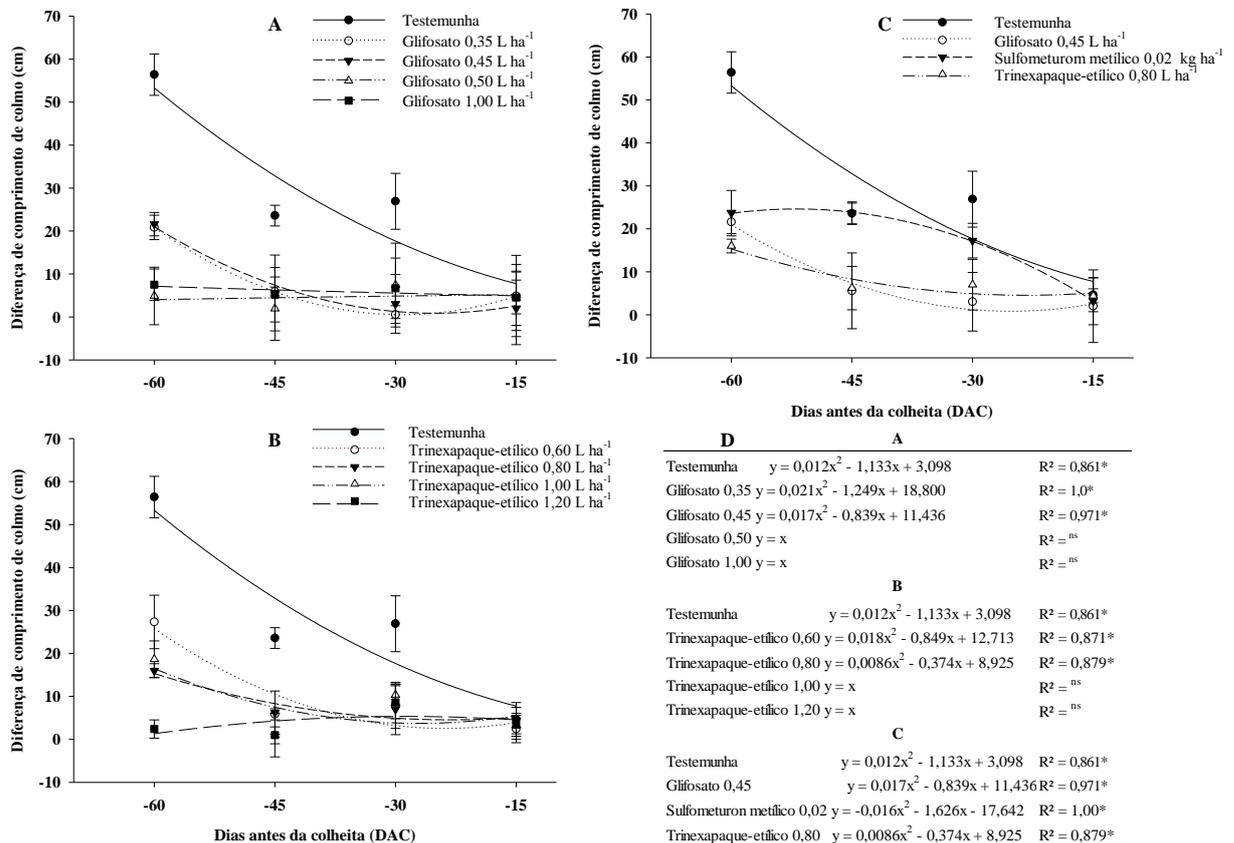
com uma aplicação, com ganhos até de 12,3% em relação à testemunha, e Karmollachaab et al. (2015) obtiveram com glifosato 0,5 L ha⁻¹ ganhos significativos entre 45-60 DAA.

4.1.2 Diferença de comprimento de colmos (cm) antes e depois da aplicação

Para a variável comprimento de colmos antes e depois da aplicação (antes da colheita) dos tratamentos com doses de glifosato houve interação entre T e DAC ($p=0,0001$) (Figura 9A). Os dados foram ajustados por equações quadráticas, conforme descrito na Figura 8D.

Aos 15 DAC, não houve diferenças entre os tratamentos com glifosato ($p=0,9953$) e os valores oscilaram entre 2 até 4,9 cm de diferença no comprimento dos colmos antes e depois da aplicação (Figura 9A). Os valores indicaram que os tratamentos não limitaram o crescimento da planta, provavelmente devido ao curto tempo para provocar efeito fisiológico dos produtos no colmo ou meristema apical da planta.

Figura 9 - Diferença de comprimento de colmos (cm) antes e depois da aplicação de A) doses de glifosato, B) doses de trinexapaque-etílico, C) maturadores em doses recomendadas em diferentes épocas antes da colheita, e D) Equações de ajustes matemáticos. Igarauçu do Tietê/SP. 2015. * = significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns = não significativo. Cada barra indica o valor médio de quatro repetições \pm desvio-padrão.



Por outro lado, aos 30 DAC, todos os tratamentos aplicados, independente da dose, inibiram o crescimento quando comparados com a testemunha. Porém não houve diferença entre eles. Os valores oscilaram entre 32,0 cm (testemunha) até 0,57 cm (glifosato a 0,35 L ha⁻¹), portanto houve diferença na faixa de 64% a 98% na redução do comprimento dos colmos entre a testemunha e os tratamentos com doses de glifosato (Figura 9A).

Aos 45 DAC, os efeitos dos tratamentos foram semelhantes ao da época anterior, em que as doses de glifosato inibiram o crescimento da planta em relação à testemunha, em que os valores de diferença de comprimento de colmos entre a aplicação e a colheita variaram entre 32,93 cm (testemunha) e 1,92 cm (glifosato 1,00 L ha⁻¹), com taxa de redução na faixa de 74% a 91,9% em relação à testemunha.

No geral, as diferentes épocas de aplicação apresentaram diferenças para cada um dos tratamentos. Para os tratamentos glifosato a 0,35 e 0,45 L ha⁻¹, o maior crescimento ocorreu aos 60 DAC, o que indica que nesta época estes tratamentos podem afetar pouco o crescimento, considerando as condições climáticas de aplicação do experimento (alta precipitação) quando comparada às demais épocas de aplicação, além de, aliado a isso, quanto mais tardia a aplicação há redução da taxa de crescimento a medida que a planta entra na fase de maturidade. Para glifosato a 0,50 e 1,00 L ha⁻¹ houve inibição do crescimento da planta em todas as épocas de aplicação (60 até 15 DAC), sem apresentar diferenças entre eles. Já para a testemunha em todas as épocas de aplicação houve crescimento constante, indicando que a diferença foi maior à medida que a aplicação foi realizada com maior número de dias antes da colheita (60 DAC).

Os ajustes por modelos quadráticos foram significativos para testemunha ($R^2=0,861$), glifosato a 0,35 e 0,45 L ha⁻¹ com $R^2=1,00$ e 0,971, já para glifosato 0,50 e 1,00 L ha⁻¹ não foram significativos indicando que em todas as datas houve a mesma redução do crescimento do colmo (Figura 9D).

Para a variável comprimento de colmos antes e depois da aplicação (antes da colheita) dos tratamentos de doses de trinexapaque-etílico houve interação entre T e DAC ($P<0,0064$) (Figura 9B), em que os dados foram ajustados por modelos quadráticos em função do decorrer do tempo (Figura 9D).

Para as épocas de aplicação aos 15 e 30 DAC não houve significância entre os tratamentos, indicando que o tempo entre aplicação e colheita não foi suficiente para as doses do produto inibirem o crescimento do colmo da cana-de-açúcar. Os valores para 15 DAC oscilaram entre 4,65 cm e 2,42 cm e para 30 DAC oscilaram de 26,96 a 6,92 cm. Já para a época de 45 DAC, todos os tratamentos reduziram o comprimento do colmo, mas sem diferenças entre eles e a magnitude da redução foi na faixa de 73,7% a 96% em relação à testemunha. Para a época de 60 DAC, todos os tratamentos apresentaram redução da altura do colmo em relação à testemunha, e os tratamentos com doses de trinexapaque-etílico 0,60; 1,0 e 0,80 L ha⁻¹ apresentaram redução de 51,5%, 67,0% e 71,64%, respectivamente, sem significância entre eles, seguido de trinexapaque-etílico 1,20 L ha⁻¹ com 95,7% (Figura 8B). De maneira geral, observou-se que a aplicação de trinexapaque-etílico nas doses de 0,80 L ha⁻¹ até 1,20 L ha⁻¹ reduziu o comprimento dos colmos em relação à testemunha.

Quanto ao efeito das épocas de aplicação (DAC), houve maior diferença de crescimento dos colmos à medida que o intervalo entre a aplicação e a colheita foi maior. A diferença de comprimento de colmo foi reduzida quando a aplicação foi realizada mais perto da colheita (15 DAC) ou seja houve menor ratio de crescimento, portanto as diferenças foram mais reduzidas. Para a testemunha aos 60 DAC houve aumento da diferença de comprimento de colmo de 91,8% em relação à época de 15 DAC.

Para trinexapaque-etílico a 0,60 L ha⁻¹ somente foi influenciada a diferença de altura aos 15 DAC, onde os valores oscilaram entre 27,3 cm (60 DAC) e 2,4 cm (15 DAC), indicando rápido efeito do produto sobre a inibição da altura do colmo, mas de maneira transitória, já que a partir dos 30 DAC o crescimento foi similar à época de 60 DAC. Os valores de diferença no comprimento dos colmos apresentaram o coeficiente de determinação (R²) entre 0,86 e 1,0, no entanto, para glifosato 0,50 L ha⁻¹ e 1,00 L ha⁻¹ não foi significativo (Figura 9D).

Para trinexapaque-etílico a 0,80 e 1,20 L ha⁻¹ houve redução no comprimento dos colmos em todas as épocas de aplicação e os valores oscilaram para trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹ entre 16 cm (60 DAC) e 4,42 cm (15 DAC) e para trinexapaque-etílico 1,20 L ha⁻¹ entre 8,6 cm (época) e 2,4 cm (época).

Para o caso de trinexapaque-etílico 1,0 L ha⁻¹, a diferença da redução foi mais severa na época de 15 a 45 DAC, já para 60 DAC houve maior crescimento do colmo, possivelmente por perda da ação do produto, e os valores na diferença do comprimento do colmo oscilaram entre 18,63 cm a 0,94 cm (Figura 8B). Para as equações matemáticas encontrou-se que testemunha, trinexapaque-etílico 0,60 e 0,80 L ha⁻¹ tiveram R² 0,861, 0,871 e 0,879, respectivamente, enquanto que para trinexapaque-etílico 1,0 e 1,20 L ha⁻¹ não houve significância entre as diferentes épocas de aplicação (Figura 9D), isso explica a redução severa das doses do produto independente da época de aplicação.

Para a variável diferença de comprimento de colmos antes e depois da aplicação (antes da colheita) sob os tratamentos maturadores, incluindo sulfometurom-metílico 0,02 kg ha⁻¹, em doses comerciais, houve efeito da interação entre T e DAC (P<0,0332) (Figura 9C).

Aos 15 DAC os tratamentos não apresentaram significância entre a diferença de comprimento do colmo. Os valores oscilaram entre 4,7 cm (testemunha) até 2 cm (glifosato 0,45 L ha⁻¹).

Aos 30 DAC houve maior redução com glifosato $0,45 \text{ L ha}^{-1}$, na ordem de 88,7% em relação à testemunha, já sulfometurom-metílico a $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ e trinexapaque-etílico a $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ foram similares à testemunha. Já aos 45 DAC todos os tratamentos foram similares na diferença de comprimento do colmo, indicando que não houve influência dos produtos aplicados, no entanto, como tendência numérica (sem significância) trinexapaque-etílico a $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ e glifosato a $0,45 \text{ L ha}^{-1}$ apresentaram maior redução no comprimento do colmo. Aos 60 DAC, todos os tratamentos aplicados apresentaram maior redução do comprimento do colmo em relação à testemunha, no entanto entre eles não houve significância. Os valores oscilaram na faixa de 56,4 cm (testemunha) até 16,0 cm (trinexapaque-etílico $0,80 \text{ L ha}^{-1}$), o que representou redução de 71,6% (Figura 9C).

De maneira geral, o glifosato $0,45 \text{ L}$ ($R^2= 97,1$) apresentou redução de crescimento entre 15 e 45 DAC, já aos 60 DAC observou-se maior de crescimento do colmo (Figura 9C). No caso de sulfometurom-metílico $0,02 \text{ kg}$, não houve diferença em nenhuma época de aplicação, indicando que o produto não inibiu o crescimento da planta, sendo similar ao crescimento da testemunha, com ajuste quadrático de $R^2 = 1,00$ onde os valores oscilaram entre 23,7 cm e 3,2 cm. Similar comportamento foi observado para trinexapaque-etílico ($R^2 = 87,9$) em que o tratamento não apresentou significância entre as épocas de aplicação e os valores oscilaram entre 16 cm (60 DAC) e 4,4 cm (15 DAC), no entanto os valores foram, em média, inferiores aos observados para sulfometurom-metílico $0,02 \text{ kg}$.

Para a testemunha ($R^2=86,1$) houve maior crescimento à medida que o intervalo entre a aplicação e a colheita foi maior, ou seja, quando foi aplicado aos 60 DAC. Os valores oscilaram entre 56,4 cm e 4,7 cm (15 DAC) (Figura 9C). De acordo com os resultados, os colmos das plantas continuaram seu crescimento após a aplicação dos maturadores, desde o ponto zero até antes da colheita, no entanto com diferentes magnitudes.

De maneira geral, a partir dos 30 DAC houve significância entre os tratamentos, em que o sulfometurom-metílico foi similar à testemunha, não apresentando redução no comprimento do colmo da cana. Os maturadores trinexapaque-etílico e glifosato inibiram o crescimento da planta em todas as doses aplicadas, em média glifosato inibiu o crescimento em 83% (91,86% a 74.9%) e trinexapaque-etílico em 79% (96% a 73,8%) em relação ao crescimento da testemunha.

Aos 60 DAC, todos os tratamentos proporcionaram redução no comprimento do colmo, no entanto a maior inibição do crescimento foi para os tratamentos trinexapaque-etílico 1,20 L ha⁻¹ e glifosato 0,50 L ha⁻¹, com 95% e 91%, respectivamente. Meschede (2009) e Karmollachaab et al. (2015) constataram que glifosato e trinexapaque-etílico proporcionaram o menor crescimento de plantas, em comparação a sulfometurom-metílico, após a aplicação dos maturadores. Também Siqueira (2014) reportou redução de crescimento com trinexapaque-etílico aos 60 DAA.

De acordo com van Heerden et al. (2015), trinexapaque-etílico reduz a altura de planta de cana-de-açúcar a partir de 56 DAA quando foi aplicado nas doses de 0,80; 1,0 e 2,0 L ha⁻¹, sem significância na dose-resposta, já que houve reativação do crescimento nas doses de 0,80 L ha⁻¹ e 1,00 L ha⁻¹, mas, não na dose de 2,0 L ha⁻¹. Os autores ainda indicaram que houve redução do entrenó número 14 em relação ao entrenó número 8 (ponto de aplicação) na ordem de 75%, 61% e 43% para 2,00; 1,00 e 0,80 L ha⁻¹, respectivamente. Outros autores também reportam redução do comprimento dos colmos após a aplicação de trinexapaque-etílico (ORGERON, 2012; SILVA, 2012).

No caso de sulfometurom-metílico, segundo Siqueira (2014), este produto reduz a altura da planta com menor impacto, variando os resultados em cada localidade dos experimentos. Por outro lado, Leite e Crusciol (2008) relataram paralisação do crescimento das plantas mediante aplicação de sulfometurom-metílico, principalmente quando as condições climáticas foram favoráveis ao desenvolvimento vegetativo, como alta pluviosidade e temperaturas mais elevadas.

4.1.3 Pigmentos fotossintéticos

4.1.3.1 Conteúdo de clorofila total (*a+b*)

O conteúdo total de clorofila (*a+b*) foi afetado sob os tratamentos de glifosato, e encontrou-se significância na interação entre T e DAA ($p < 0,0181$) (Figura 10A). Os valores dos tratamentos foram ajustados por modelos quadráticos e suas respectivas equações encontram-se na Figura 10D.

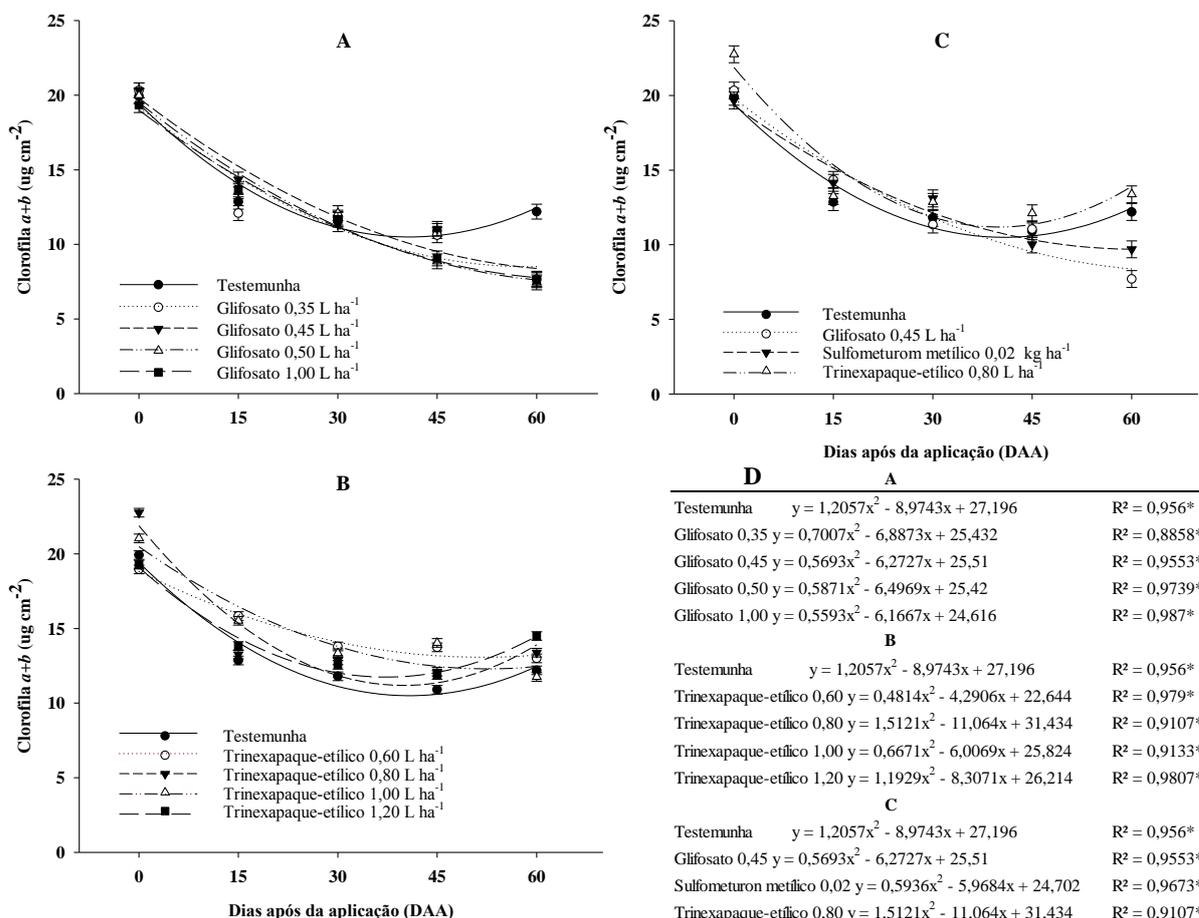
As diferenças entre os tratamentos com doses de glifosato no conteúdo total da clorofila (*a + b*) somente foram encontradas aos 60 DAA ($p = 0,0446$),

quando todos os tratamentos foram inferiores à testemunha, com valores oscilando entre 12,2 (testemunha) até 7,2 $\mu\text{g cm}^{-2}$, o que representa redução de 37% a 41% de conteúdo de clorofila total ($a + b$) pela aplicação de glifosato como maturador (Figura 10A).

Avaliando os tratamentos em função do tempo (DAA) houve redução do conteúdo total de clorofila ($a+b$), incluindo a testemunha. Segundo Jain et al. (1999), a redução no conteúdo total de clorofila deve-se a redução de N na folha assim como as características de senescência da variedade, indicando o processo de maturação, no entanto a concentração da clorofila na testemunha foi estável no tempo, indicando que o processo de maturação foi mais lento quando comparado aos demais tratamentos, que reduziram em maior magnitude a partir dos 15 DAA até 60 DAA. No caso da testemunha em maturação natural a redução foi na faixa de 35,4% até 45% de 0 para 60 DAA, respectivamente, já para os tratamentos com doses de glifosato a variação foi entre 61,4% (glifosato a 0,35 L ha^{-1}) até 63% (glifosato 1,00 L ha^{-1}). Os valores de clorofila total ($a+b$) apresentaram o coeficiente de determinação (R^2) entre 0,8858 a 0,987 (Figura 10D).

Sob os tratamentos com doses de trinexapaque-etílico, o conteúdo total de clorofila $a+b$ foi afetado significativamente pela interação entre T e DAA ($p < 0,0395$) (Figura 9B). Os valores dos tratamentos foram ajustados por modelos matemáticos quadráticos (Figura 10 D).

Figura 10 - Conteúdo de clorofila total ($a+b$), em função da aplicação de A) doses de glifosato, B) doses de trinexapaque-etílico, C) maturadores em doses recomendadas na época de 60 DAC e D) equações de ajustes matemáticos. Igarapu do Tietê/SP, 2015. * = significativo ao nível de 5% de probabilidade. Cada barra indica o valor médio de quatro repetições \pm desvio-padrão.



A partir dos 45 DAA todas as doses de trinexapaque-etílico proporcionaram valores de conteúdo de clorofila total superiores à testemunha, porém, sem diferença significativa entre eles. Na testemunha foi verificado conteúdo de clorofila total de $10,90 \mu\text{g cm}^{-2}$ e nos tratamentos com trinexapaque-etílico os valores foram $13,7 \mu\text{g cm}^{-2}$ na dose de $0,60 \text{ L ha}^{-1}$, $12,1 \mu\text{g cm}^{-2}$ na dose de $0,80 \text{ L ha}^{-1}$, $14,0 \mu\text{g cm}^{-2}$ na dose de $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ e $11,9 \mu\text{g cm}^{-2}$ na dose de $1,20 \text{ L ha}^{-1}$, significando aumento de 28,8% até 9,08% (Figura 10B).

Nas demais datas de amostragem não foram encontradas diferenças nos valores de clorofila total ($a+b$) entre as doses de trinexapaque-etílico, mas, de maneira geral, foram superiores à testemunha (sem significância).

Em média os tratamentos nas diferentes datas de amostragens, reduziram o teor de clorofila a partir dos 15 DAA. A testemunha apresentou redução na ordem de 45% aos 45 DAA, no entanto os tratamentos aplicados com trinexapaque-etílico apresentaram similar ou menor redução quando comparado com a testemunha, oscilando entre 31% a 46% (Figura 10B). Os valores de clorofila total $a+b$ apresentaram o coeficiente de determinação (R^2) entre 0,9107 a 0,9807 (Figura 10D).

Segundo Jain et al. (1999), os conteúdos dos pigmentos fotossintéticos são reduzidos na fase de maturação quando comparado à fase de crescimento, sendo influenciados por genótipos, pelos ciclos de maturação precoce, média ou tardia, e pelos teores de N e P. Assim os valores do conteúdo de clorofila total $a+b$ sob aplicação de trinexapaque-etílico foram superiores devido ao incremento nos níveis de citocinina que é precursor de clorofila o qual aumenta a densidade da clorofila na folha (MARCH et al., 2013), esse fenômeno é evidenciado pelo encurtamento da folha de cor mais verde.

Para os tratamentos com as doses recomendadas (comerciais) dos maturadores, incluindo sulfometurom-metílico $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$, o conteúdo total de clorofila ($a+b$) foi afetado significativamente pela interação entre T e DAA ($p < 0,0103$) (Figura 10C). Os valores dos tratamentos foram ajustados por modelos, modelos quadráticos (Figura 10D).

O conteúdo total de clorofila ($a+b$) foi afetado pelos tratamentos até os 60 DAA, em que o trinexapaque-etílico a $0,80 \text{ L ha}^{-1}$, sulfometurom metílico a $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ e a testemunha proporcionaram valores similares estatisticamente, mas foram diferentes do tratamento sob glifosato a $0,45 \text{ L ha}^{-1}$, o qual reduziu o conteúdo total de clorofila em 37% em relação à testemunha (Figura 10C).

Houve redução do conteúdo de clorofila total ($a+b$) pelos tratamentos em função do tempo, em que a testemunha de maneira natural apresentou redução de 45%, glifosato $0,45 \text{ L ha}^{-1}$ de 62%, sulfometurom metílico a $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ de 52% e trinexapaque-etílico $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ de 46,8% (Figura 9C). Portanto, sob glifosato $0,45 \text{ L ha}^{-1}$ houve a maior redução do conteúdo total de clorofila ($a+b$) aos 60 DAA. Os valores de clorofila total ($a+b$) apresentaram coeficientes de determinação (R^2) entre 0,9107 e 0,9673 (Figura 10D).

O efeito fisiológico pela aplicação de maturadores influencia o conteúdo de clorofila total ($a+b$), e neste estudo pode-se observar que qualquer dose aplicada de glifosato reduziu o conteúdo de clorofila em relação à testemunha em média 39% aos

60 DAA, devido ao bloqueio da rota metabólica do ácido chiquímico e principalmente na produção de aminoácidos aromáticos, redução de fotossínteses e do sistema antioxidante enzimático (GOMES et al., 2014) seguido por sulfometurom-metílico 0,02 kg ha⁻¹ em 20%. No entanto o tratamento com trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹, em média, aumentou o conteúdo de clorofila total (*a+b*) em 8%, possivelmente ao incremento nos níveis de citocinina devido ao estímulo pela inibição de giberelina (MARCH et al., 2013).

4.1.3.2 Carotenoides

Com relação aos caratenoides, sob os tratamentos com doses de glifosato não houve interação entre T e DAA ($p=0,0858$), da mesma forma os tratamentos, de maneira geral, não alteraram o conteúdo de carotenoides na planta, esperava-se redução pelas dosis aplicadas, no entanto, houve redução a partir dos 15 DAA, em que aos 45 DAA houve redução de 44% (Tabela 4).

Para os tratamentos com trinexapaque-etílico não houve significância na interação entre T e DAA ($p<0,1928$) (Tabela 4). Todos os tratamentos aplicados foram superiores no conteúdo de carotenoides em relação à testemunha, no entanto, as doses de trinexapaque-etílico 1,00; 0,80 e 0,60 L ha⁻¹ foram as que proporcionaram maiores incrementos. Em média, em todas as datas de amostragem foi verificada redução de carotenoides em relação à testemunha na época inicial (0 DAA). A redução dos carotenóides oscilou entre 20,4% a 34,9% para os tratamentos aplicados (Tabela 4).

Tabela 4 - Conteúdo de carotenoides em cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores aos 60 DAC. Botucatu/SP, 2015.

ÉPOCA DE APLICAÇÃO: 60 DAC						
	Dias após da aplicação (DAA)					Média
	0	15	30	45	60	
Carotenoides ($\mu\text{g cm}^{-2}$)						
Testemunha	3,13	2,28	2,10	1,88	2,53	2,38
Glifosato 0,35L	3,19	2,20	2,16	1,77	2,05	2,28
Glifosato 0,45L	3,24	2,43	2,14	1,97	1,94	2,34
Glifosato 0,50L	3,12	2,41	2,27	1,54	1,88	2,24
Glifosato 1,00L	3,06	2,75	2,12	1,65	1,76	2,27
Média	3,15a	2,42b	2,16c	1,76d	2,03c	
Tratamento (T), $p=0,6650^{\text{ns}}$; Dias após da aplicação (DAA), $p<0,0001^{**}$; T x DAA, $p=0,0858^{\text{ns}}$; CV%=14,1						
Testemunha	3,13	2,28	2,10	1,88	2,53	2,38C
TE 0,60L	3,00	2,55	2,33	2,05	2,66	2,52ABC
TE 0,80L	3,67	2,43	2,29	2,06	2,56	2,60 AB
TE 1,00L	3,35	2,68	2,33	2,45	2,54	2,67 A
TE 1,20L	3,06	2,20	2,22	2,10	2,61	2,44 BC
Média	3,24a	2,43bc	2,25cd	2,11d	2,58b	
Tratamento (T), $p=0,0077^*$; Dias após da aplicação (DAA), $p<0,0001^{**}$; T x DAA, $p=0,1928^{\text{ns}}$; CV%=12,1						
Testemunha	3,13	2,28	2,10	1,88	2,53	2,38B
Glifosato 0,45L	3,24	2,43	2,14	1,97	1,94	2,34B
SM 0,02kg	3,20	2,32	2,34	1,68	2,16	2,34B
TE 0,80L	3,67	2,43	2,29	2,06	2,56	2,60A
Média	3,31a	2,37b	2,22b	1,90c	2,30b	
Tratamento (T), $p=0,0240^*$; Dias após da aplicação (DAA), $p<0,0001^{**}$; T x DAA, $p=0,07228^{\text{ns}}$; CV%=12,1						

OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na horizontal (DAA= Dias após da aplicação); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade; Tratamentos 5% LSD, épocas 5% LSD. TE= Trinexapaque-etílico, SM=Sulfometurom-metílico

Para os tratamentos com doses comerciais dos maturadores não houve significância na interação entre T e DAA ($p<0,0858$) (Tabela 4). Somente trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹ aumentou em 9,24% o conteúdo de carotenoides em relação à testemunha, e os demais tratamentos foram similares estatisticamente. Em média, houve redução no conteúdo de carotenoides entre as datas de avaliação a partir dos 15 DAA, em que aos 45 DAA foi observada a maior redução, com 42,6% em relação a 0 DAA.

Sob o tratamento glifosato a 0,45 L ha⁻¹ não foi observada redução de carotenoides, diferindo de outros resultados, indicando que quando a planta é

submetida à aplicação de glifosato há menor quantidade desses pigmentos, indicando menor proteção contra foto-oxidação, o que leva a maiores danos nas membranas fotossintéticas (Gomes et al., 2014). De acordo com Meschede (2009), o conteúdo de carotenoides é afetado negativamente quando é aplicado glifosato em doses iguais ou maiores a $0,40 \text{ L ha}^{-1}$.

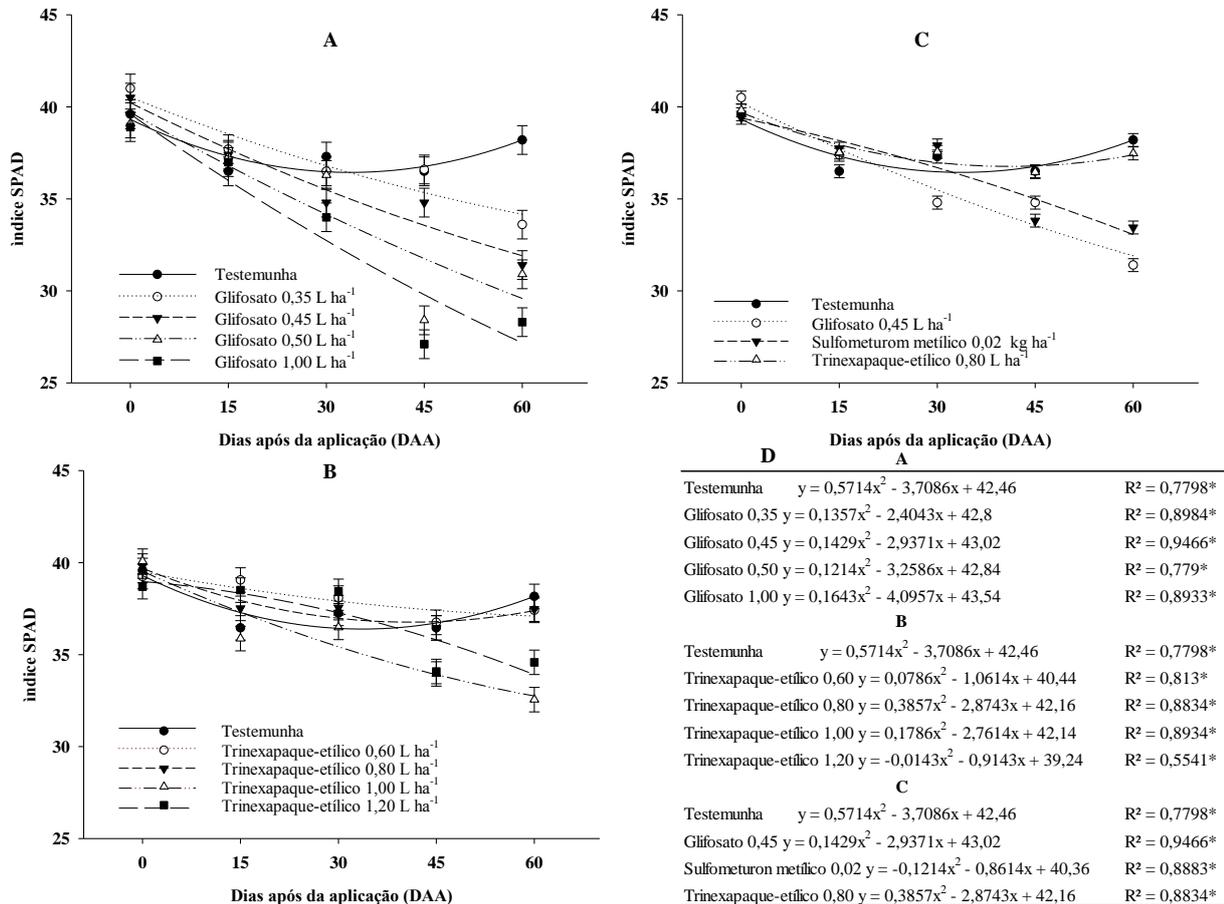
Neste estudo, de modo geral, trinexapaque-etílico a $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ aumentou o conteúdo de carotenoides, devido possivelmente a sua ligação com as clorofilas permitindo maior transferência de energia para as clorofilas e maior fotoproteção ao sistema fotossintético (TAIZ; ZEIGER, 2013) e sulfometurom-metilico $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ e glifosato $0,45 \text{ L ha}^{-1}$ não alteraram nas doses, mais houve redução com o decorrer do tempo até os 60 DAA, o que indicou degradação ou foto-oxidação celular na planta.

4.1.3.3 Índice SPAD (*Soil Plant Analysis Development*)

Observa-se o comportamento do índice SPAD com a aplicação de glifosato pela Figura 10A, em que foi observada interação entre os tratamentos e datas avaliadas ($p < 0,0001$), e os valores foram ajustados por modelos quadráticos e suas respectivas equações estão apresentadas na Figura 11D.

Não houve diferenças entre os tratamentos até 15 DAA, com oscilações dos valores entre 40,95 e 38,93 aos 0 DAA, e entre 37,7 e 36,5 aos 15 DAA. A partir dos 30 DAA os tratamentos apresentaram diferenças significativas, em que o glifosato nas doses de $0,45$ e $1,00 \text{ L ha}^{-1}$ foram verificadas as maiores reduções em relação à testemunha, na ordem de 6,5% e 8,6%, respectivamente, e os demais tratamentos tiveram comportamento similar à testemunha. Já aos 45 DAA, os tratamentos com glifosato nas doses de $0,50$ e $1,00 \text{ L ha}^{-1}$ reduziram em maior magnitude o índice de clorofila SPAD, em 22% a 25,8%, respectivamente, em relação à testemunha. Finalmente, aos 60 DAA os tratamentos com glifosato a $0,45$; $0,50$ e $1,00 \text{ L ha}^{-1}$ reduziram o índice SPAD em 17,86%, 19,15% e 26%, respectivamente, em relação à testemunha.

Figura 11 - Índice SPAD em função da aplicação de A) doses de glifosato, B) doses de trinexapaque-etílico, C) maturadores em doses recomendadas na época de 60 DAC, e D) equações de modelos matemáticos. Igarauçu do Tietê/SP, 2015. * = significativo ao nível de 5% de probabilidade. Cada barra indica o valor médio de quatro repetições \pm desvio-padrão.



Todos os tratamentos apresentaram redução do índice SPAD a partir dos 15 DAA, sendo maior a redução aos 60 DAA. No caso da testemunha não houve diferença entre as datas avaliadas, indicando com isso que o processo fotossintético continuou sem alteração. Os valores de índice SPAD apresentaram coeficientes de determinação (R^2) entre 0,779 a 0,9466 (Figura 11D).

O índice de clorofila SPAD não foi afetado pela interação entre os tratamentos e datas avaliadas ($p < 0,2164$) com a aplicação de doses de trinexapaque-etílico (Figura 10B), e os valores obtidos sob os tratamentos foram ajustados por modelos matemáticos quadráticos (Figura 11D).

Apenas sob trinexapaque-etílico 1,00 L ha⁻¹ foi observada diferença em relação aos demais tratamentos, indicando pouco efeito das doses sobre o índice de clorofila

SPAD. No entanto, com relação às épocas de amostragem, houve redução do índice de clorofila a partir dos 15 DAA, na ordem de 10% de 0 para 45 DAA. Os valores de índice SPAD apresentaram coeficientes de determinação (R^2) entre 0,551 a 0,8934 (Figura 11D).

Para o índice de clorofila SPAD com a aplicação de doses comerciais de glifosato, trinexapaque-etílico e sulfometurom-metílico foi observada interação entre os tratamentos e datas avaliadas ($p < 0,0270$) (Figura 11C).

A partir dos 30 DAA os tratamentos apresentaram diferenças no índice de clorofila SPAD, O glifosato a $0,45 \text{ L ha}^{-1}$ apresentou a maior redução (6,5%), já o sulfometurom-metílico $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ e trinexapaque-etílico $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ foram similares à testemunha. Na avaliação aos 60 DAA, os tratamentos sulfometurom-metílico a $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ e glifosato a $0,45 \text{ L ha}^{-1}$ reduziram o índice de clorofila SPAD em 12,4% e 17,86%, respectivamente, e trinexapaque-etílico a $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ foi similar à testemunha.

Quanto ao comportamento dos tratamentos no tempo (DAA) foi observado que o índice SPAD não foi alterado na testemunha de 0 para 60 DAA, indicando que o processo fotossintético continuou sem entrar no processo de degradação pela fase fisiológica de maturação, Sales et al. (2015) relatam que a atividade fotossintética é mantida devido a hidratação da planta no período de maturação. Já para o tratamento glifosato $0,45 \text{ L ha}^{-1}$, houve redução de 22,5% de 0 para 60 DAA, iniciando a partir dos 30 DAA, enquanto para sulfometurom-metílico $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ houve redução do índice de clorofila a partir dos 45 DAA, com 15,14% de 0 para 60 DAA e para trinexapaque-etílico somente houve redução de 8,5% aos 45 DAA. Os valores de índice SPAD apresentaram coeficientes de determinação (R^2) entre 0,7798 a 0,9466 (Figura 11D).

De maneira geral houve redução do índice de clorofila SPAD, em que os tratamentos de glifosato nas doses $0,45$; $0,50$ e $1,00 \text{ L ha}^{-1}$ reduziram em maior magnitude quando comparados ao trinexapaque-etílico e sulfometurom-metílico, assim como na data de amostragem 60 DAA foi observada a maior redução do índice de clorofila. Diversos estudos têm mostrado que índice SPAD abaixo de 40 é o início da degradação da clorofila, durante os estádios fenológicos ou sob deficiência hídrica, Silva et al. (2011; 2014), no entanto o comportamento do índice SPAD antes e depois da aplicação de maturadores foi similar aos dados reportados por Silva et al. (2011; 2014) e Torres Netto et al. (2005) o que significa que maturadores em diferentes doses tiveram efeito na degradação da clorofila.

O efeito no índice SPAD com os diferentes produtos e dose foi lento (acima dos 30 DAA) na degradação da clorofila, provavelmente aconteceu devido ao grande crescimento vegetativo ou acúmulo de biomassa das plantas pela ocorrência de alta precipitação nos meses anteriores à aplicação de maturadores, sobretudo na época de aplicação aos 60 DAC (23/03/2015). A perda de energia através do fotosistema II foi menor provavelmente devido à hidratação da planta durante o período de maturação ou manutenção da atividade fotossintética sob a aplicação dos maturadores. Isso pode ser importante no fornecimento na demanda do dreno e manutenção do acúmulo de sacarose nos entrenós do colmo na fase de maturação (SALES et al., 2015).

Os resultados deste estudo estão em concordância com Hayamichi (1990), em que o autor não encontrou diferenças na clorofila determinada via SPAD a 2 e 4 semanas após da aplicação de glifosato como maturador. Por outro lado, Adriano et al. (2013) encontraram uma rápida redução no conteúdo de clorofila (SPAD) aos 6 DAA quando aplicou glifosato em doses altas para erradicação de diferentes variedades de cana. No entanto os autores indicam que o comportamento variou de acordo ao genótipo. Assim sendo os autores indicam que existe redução de clorofila em plantas sem aparente dano por glifosato, efeito similar ocorre na aplicação de maturadores onde algumas vezes não existe efeito visual da redução dos pigmentos fotossintéticos em variedades específicas. Porém essas plantas fisiologicamente não experimentado estresse induzida pelos maturadores. A medição de clorofila a través do SPAD é um método pratico que pode ser utilizado no campo com grande precisão, no entanto o método pela espectrofotometria é mais certo, no entanto mais complexo.

4.1.4 Análises bioquímicas

4.1.4.1 Invertase SAI, NI, SPS, SuSy

Com relação ao efeito de doses de glifosato sobre a invertase ácida solúvel (SAI), não houve interação entre T e DAA ($p=0,1141$) (Tabela 5), mas as médias dos tratamentos foram estatisticamente diferentes ($p=0,0475$). Glifosato a 0,45 e 0,35 L ha⁻¹ aumentaram a atividade da SAI em 111% e 33%, respectivamente, em relação à testemunha, e os demais tratamentos tiveram desempenho similar à testemunha. Quanto às épocas de avaliação, os tratamentos proporcionaram incremento na

atividade da SAI aos 60 DAA em comparação aos 15 DAA, na ordem de 55%, em média (Tabela 5).

Não houve interação entre T e DAA ($p=0,3345$) para SAI em função da aplicação de doses de trinexapaque-etílico, assim como não houve diferenças entre os tratamentos ($p=0,2766$) e DAA ($p=0,1557$) (Tabela 5).

A SAI não teve influência da interação entre T e DAA ($p=0,530$) após a aplicação dos maturadores glifosato, trinexapaque-etílico e sulfometurom-metílico em suas doses comerciais, mas foram observadas diferenças entre os tratamentos ($p=0,399$), em que o glifosato a $0,45 \text{ L ha}^{-1}$ e o trinexapaque-etílico a $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ tiveram comportamento similar e aumentaram a atividade da SAI em 111% e 31,7%, respectivamente, porém, não houve aumento da atividade de 15 para 60 DAA (Tabela 5).

Os resultados do incremento da atividade da SAI quando aplicado glifosato pode ser devido a sua responsabilidade na variação no conteúdo de sacarose durante o crescimento, além de sua relação inversa com o conteúdo de sacarose (Lingle, 1999). Alta atividade se deve também as condições favoráveis de crescimento da planta (Crusciol et al., 2016). Por outro lado, os resultados deste estudo estão em concordância com Siqueira (2014), que avaliou a atividade da SAI no caldo e não encontrou interação dos tratamentos com os DAA quando trinexapaque-etílico foi aplicado.

Tabela 5 - Atividade da enzima invertase ácida (SAI) e neutra (NI), no terço superior de cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores aos 60 DAC em cana-de-açúcar. Botucatu/SP. 2015.

Tratamentos	Invertases ($\mu\text{mol de glicose g MF min}^{-1}$)					
	SAI			NI		
	15 DAA	60 DAA	Média	15 DAA	60 DAA	Média
Testemunha	1,00	0,64	0,82B	1,38	0,47	0,93
Glifosato 0,35	0,95	1,23	1,09AB	0,81	0,43	0,62
Glifosato 0,45	1,16	2,30	1,73A	1,05	0,78	0,91
Glifosato 0,50	0,49	1,39	0,94B	1,38	0,62	1,00
Glifosato 1,00	0,74	1,17	0,96B	0,87	0,68	0,78
Média	0,87b	1,35a		1,1a	0,6b	

SAI=Tratamento, $p = 0,0475^*$; Dias após da aplicação (DAA) = $0,0136^*$, T x DAA, $p=0,1141^{ns}$

NI= Tratamento, $p = 0,4274^{ns}$; Dias após da aplicação (DAA) = $0,0023^*$, T x DAA, $p=0,3813^{ns}$

Testemunha	1,00	0,64	0,82	1,38ABa	0,47b
Trinexapaque-etílico 0,60	2,05	1,25	1,65	2,18Aa	0,61b
Trinexapaque-etílico 0,80	1,27	0,89	1,08	0,81B	0,91
Trinexapaque-etílico 1,00	0,47	1,05	0,76	0,81B	0,83
Trinexapaque-etílico 1,20	1,44	0,88	1,16	0,59B	0,56
Média	1,16	1,00			

SAI =Tratamento, $p = 0,2766^{ns}$; Dias após da aplicação (DAA) = $0,1557^{ns}$, T x DAA, $p = 0,3345^{ns}$

NI =Tratamento, $p = 0,0076^*$; Dias após da aplicação (DAA) = $0,0009^*$, T x DAA, $p = 0,0014^*$

Testemunha	1,00	0,64	0,82B	1,38a	0,47b
Glifosato 0,45	1,16	2,30	1,73A	1,05	0,78
Sulfometurom-metílico 0,02	0,7	1,28	1,00B	1,03	1,01
Trinexapaque-etílico 0,80	1,27	0,89	1,08AB	0,81	0,91
Média	1,04	1,27			

SAI = Tratamento, $p = 0,0399^*$; Dias após da aplicação (DAA) = $0,0987^{ns}$, T x DAA, $p=0,05^*$

NI = Tratamento, $p = 0,2957^{ns}$; Dias após da aplicação (DAA) = $0,0193^*$, T x DAA, $p=0,0433^*$

OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na horizontal (DAA= Dias após da aplicação); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade, MF= matéria fresca.

Já Guimarães et al. (2005) indicaram que a redução na SAI é maior no terço superior quando comparado ao inferior, devido ao acúmulo de sacarose. No entanto Leite et al. (2015) encontraram maior atividade de SAI quando aplicaram glifosato e sulfometurom-metílico, encontrando uma relação inversa com o conteúdo de sacarose. Os autores indicam que as condições de alta umidade no solo ou precipitação estimularam o uso de açúcares (glucose e frutose) para o crescimento vegetativo e metabolismo da planta, portanto o comportamento da atividade da SAI

deste estudo (sem significância), assim como das condições climáticas durante o experimento, estão em acordo com os autores.

Para a invertase neutra (NI), após a aplicação de doses de glifosato, não houve interação entre T e DAA ($p=0,3813$), bem como não houve diferenças entre as médias dos tratamentos ($p=0,4234$). No entanto houve decréscimo da atividade da NI de 15 para 60 DAA, sendo a redução na ordem de 45% (Tabela 5).

No caso da aplicação de doses de trinexapaque-etílico houve efeito da interação entre T e DAA ($p=0,0014$) sobre a atividade da NI, em que aos 15 DAA trinexapaque-etílico a 0,8; 1,00 e 1,20 L ha⁻¹ reduziram sua atividade em 41%, 41% e 57%, respectivamente, em relação à testemunha e ao trinexapaque-etílico a 0,60 L ha⁻¹. No entanto, aos 60 DAA os tratamentos não apresentaram influência nessa atividade. Com relação ao tempo, os tratamentos trinexapaque-etílico a 1,20; 0,80; e 1,00 L ha⁻¹ não apresentaram alteração na atividade da enzima NI, mas os tratamentos trinexapaque-etílico 0,60 L ha⁻¹ e a testemunha reduziram a atividade da NI aos 60 DAA, quando comparado aos 15 DAA.

Os maturadores, incluindo sulfometurom-metílico, em doses comerciais não proporcionaram interação significativa entre T e DAA sobre NI, bem como não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos ou DAA (Tabela 5).

De maneira geral houve redução da atividade da NI de 15 para 60 DAA com aplicação de glifosato. Trinexapaque-etílico influenciou a atividade da enzima. Leite et al. (2015) reportaram redução do teor de NI utilizando glifosato e sulfometurom-metílico, similar ao observado neste estudo com glifosato, mas não com sulfometurom-metílico. Os autores indicam que quando as condições climáticas são favoráveis ao crescimento vegetativo existe maior atividade de SAI e quando as condições de maturação são ideais a atividade da NI é baixa, contudo, pode-se indicar, de maneira geral, que a baixa atividade de NI aos 60 DAA foi um sinal de acúmulo de sacarose na planta devido a aplicação de maturadores, com diferente intensidade, especialmente para trinexapaque-etílico.

Quanto à atividade da sacarose fosfato sintetase (SPS) mediante aplicação de doses de glifosato, não foi encontrada interação entre T e DAA ($p=0,0734$) glifosato, bem como não houve influência dos tratamentos ($p=0,0968$). No entanto, quanto às épocas de avaliação, houve redução da SPS de 15 para 60 DAA, na ordem de 69% (Tabela 6).

Tabela 6 - Atividade das enzimas sacarose fosfato sintase (SPS) e sacarose sintetase (SuSy) no terço superior de cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores aos 60 DAC em cana-de-açúcar. Botucatu/SP. 2015.

Tratamentos	$(\mu\text{mol de Sac g MF min}^{-1})$				
	SPS			SuSy	
	15 DAA	60 DAA	Média	15 DAA	60 DAA
Testemunha	4,22	2,94	3,58	1,74	1,02
Glifosato 0,35	7,45	3,81	5,63	2,52	1,06
Glifosato 0,45	10,88	1,62	6,25	4,21	3,16
Glifosato 0,50	8,18	0,78	4,48	0,93	1,60
Glifosato 1,00	3,11	1,29	2,20	4,98a	0,86b
Média	6,8a	2,1b			

SPS= Tratamento, $p=0,0968^{ns}$; Dias após da aplicação (DAA), $p=0,0005$; T x DAA, $p=0,734^{ns}$

SuSy= Tratamento, $p=0,0052^*$; Dias após da aplicação (DAA), $p=0,0030^*$; T x DAA, $p=0,0189^*$

Testemunha	4,22	2,94	1,74C	1,02BC
Trinexapaque-etílico 0,60	3,54	3,47	1,59C	2,194AB
Trinexapaque-etílico 0,80	4,52a	1,37b	6,34Aa	2,801Ab
Trinexapaque-etílico 1,00	5,82	1,70	3,38BCa	0,541Cb
Trinexapaque-etílico 1,20	5,66a	1,32b	5,12AB	1,177BC

SPS = Tratamento, $p=0,1609^{ns}$; Dias após da aplicação (DAA), $p=0,0001^*$; T x DAA, $p=0,0188^*$.

SuSy = Tratamento, $p=0,0005^*$; Dias após da aplicação (DAA), $p<0,0001^*$; T x DAA, $p=0,040^*$.

Testemunha	4,22	2,94B	1,74	1,02
Glifosato 0,45	10,88	1,62B	4,21	3,16
Sulfometurom-metílico 0,02	3,96	7,68A	1,98	0,96
Trinexapaque-etílico 0,80	4,52a	1,37Bb	6,34a	2,80b

SPS= Tratamento, $p=0,1102^{ns}$; Dias após da aplicação (DAA), $p=0,0283^*$; T x DAA, $p=0,0113^*$

SuSy = Tratamento, $p=0,0001^*$; Dias após da aplicação (DAA), $p=0,0004^*$; T x DAA, $p=0,0102^*$

OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na horizontal (DAA= Dias após da aplicação); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade, MF= Matéria fresca.

No caso da aplicação de doses de trinexapaque-etílico foi encontrada interação entre T e DAA ($p=0,0188$) sobre a SPS, entretanto esses tratamentos não apresentaram diferença significativa entre as épocas de amostragens 15 e 60 DAA, mas aos 60 DAA os tratamentos trinexapaque-etílico 1,20 e 0,80 L ha⁻¹ reduziram a atividade da SPS (Tabela 6).

Com a aplicação de sulfometurom-metílico a 0,02 kg ha⁻¹ houve efeito da interação entre T e DAA ($p=0,0113$) sobre a SPS, assim como houve diferença entre os tratamentos e DAA. Não houve diferença entre os tratamentos aos 15 DAA, mas aos 60 DAA somente o tratamento sulfometurom-metílico a 0,02 kg ha⁻¹ aumentou em

159% a atividade da SPS. Com relação às épocas de avaliação, somente o trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹ reduziu a atividade da SPS de 15 para 60 DAA, em média, em 230% (Tabela 6).

De maneira geral, houve redução da atividade de SPS de 15 para 60 DAA sob os tratamentos com doses de glifosato, assim como as doses de 0,80 e 1,20 L ha⁻¹ de trinexapaque-etílico. Possivelmente esse comportamento se deve à velocidade do efeito dos maturadores nessas doses na planta. Entretanto, após a aplicação de sulfometurom-metílico houve aumento da atividade da enzima SPS aos 60 DAA comparado aos demais tratamentos. Esse efeito evidenciou o postulado de Wang et al. (2013), o aumento da SPS é um indicador de maturação da cana-de-açúcar devido à correlação positiva com o conteúdo de sacarose.

Sobre a atividade da sacarose sintetase (SuSy), houve efeito da interação entre T e DAA ($p=0,0189$) após a aplicação das doses de glifosato, porém não houve diferença entre os tratamentos nas épocas avaliadas (15 e 60 DAA). O glifosato 1,00 L foi o único tratamento que reduziu a atividade da SuSy de 15 para 60 DAA, na ordem de 82,7%, contudo para os demais tratamentos não houve alteração (Tabela 6).

Com o uso de doses de trinexapaque-etílico houve interação entre T e DAA ($p=0,0040$) na atividade de SuSy, bem como houve diferença entre os tratamentos nas épocas avaliadas. Aos 15 DAA, os tratamentos trinexapaque-etílico 0,80 e 1,20 L ha⁻¹ aumentaram a atividade da SuSy em 264% e 241%, respectivamente, em relação à testemunha, e aos 60 DAA os tratamentos de trinexapaque-etílico 0,80 e 0,60 L ha⁻¹ aumentaram a atividade da SuSy em 174,5% e 114,7%, respectivamente, em relação à testemunha. Quanto ao tempo após aplicação, trinexapaque-etílico 0,80 e 1,00 L ha⁻¹ reduziram a atividade da SuSy aos 60 DAA em relação aos 15 DAA, enquanto os demais tratamentos não tiveram alteração (Tabela 6).

Com a aplicação de glifosato, trinexapaque-metílico e sulfometurom-metílico nas doses comerciais houve efeito significativo da interação entre T e DAA ($p=0,0102$) sobre a SuSy. Aos 15 DAA, os tratamentos trinexapaque-etílico a 0,80 L ha⁻¹ e glifosato a 0,45 L ha⁻¹ aumentaram a atividade da SuSy em 264% e 142%, respectivamente, em relação à testemunha, porém aos 60 DAA não houve diferença entre os tratamentos. A atividade das enzimas foi reduzida pela aplicação de trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹ em função do tempo, de 15 para 60 DAA, enquanto os demais tratamentos não proporcionaram alteração (Tabela 6).

No geral, houve redução na atividade da Susy sob os tratamentos com glifosato, diferindo de trinexapaque-etílico $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ que proporcionou aumento, e do sulfometurom metílico a $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ que não alterou a atividade da enzima. Esse comportamento está de acordo com Jain et al. (2013), no sentido da síntese, a SuSy tem a função de maior acúmulo de sacarose, já que os indutores de maturação atuam geneticamente nas enzimas, promovendo aumento da SuSy e reprimindo a SAI. As diferenças no incremento ou redução da atividade das diferentes enzimas se deve ao mecanismo de ação dos maturadores.

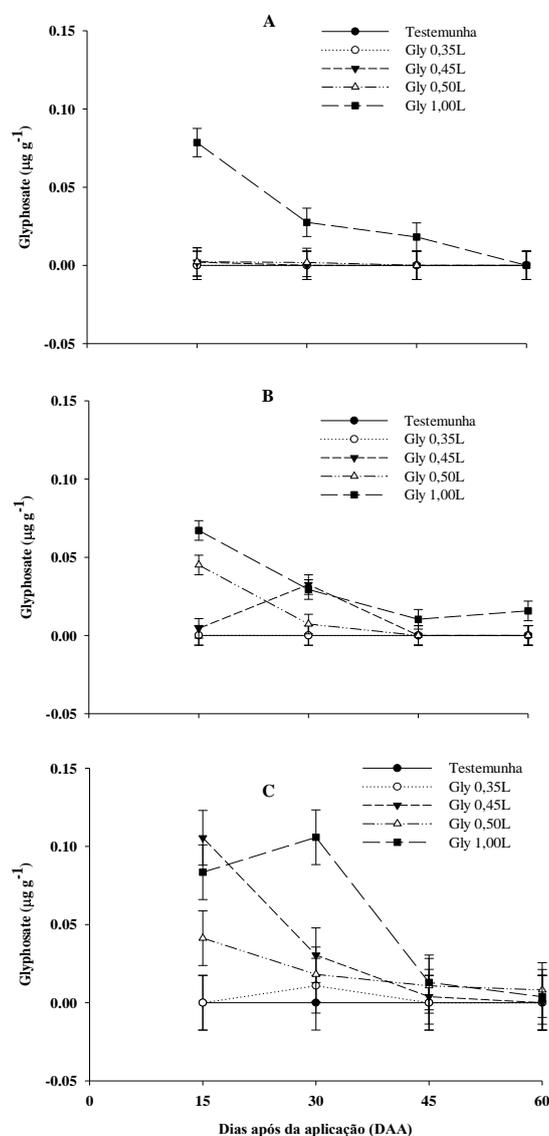
4.1.5 Análises químicas

4.1.5.1 Resíduos em matéria seca e rota metabólica de glifosato

As doses de glifosato aplicadas como maturador foram detectadas e quantificadas nos diferentes tecidos da parte aérea da cana-de-açúcar, isto é, folha +1, restante de folhas e ponteiros (Figuras 12A, B e C respectivamente).

Com relação à folha +1 não houve efeito da interação entre T e DAA ($p=0,0603$) e, em média, a maior quantidade de resíduo de glifosato foi na faixa de $0,0099$ a $0,031 \mu\text{g g}^{-1}$, sendo aos 15 DAA onde houve a maior quantidade quantificada, no entanto, é importante ressaltar que a quantificação de glifosato ocorreu entre as doses de $0,45$ até $1,00 \text{ L ha}^{-1}$, com posterior degradação até os 45 DAA e sem detecção aos 60 DAA, devido à variabilidade dos dados apresentou pobre correlação entre as doses e quantidade de resíduos quantificados (Figura 12A).

Figura 12. Resíduo de glifosato em folhas +1 (A), restante das folhas (B) e ponteiros (C) em cana-de-açúcar submetida à aplicação de doses de glifosato, na época de aplicação de 60 DAC. Cada barra indica o valor médio de quatro repetições \pm desvio-padrão, Gly= Glifosato, $\mu\text{g g}^{-1}$ = ppm, limite de detecção = 1 ppb.



No restante das folhas foi detetado e quantificado glifosato e foi observada interação entre T e DAA ($p < 0,0001$), em que aos 15 e 30 DAA a dose de glifosato 0,45 L ha^{-1} foi quantificado com 0,01 e 0,03 $\mu\text{g g}^{-1}$, incrementando o dobro em relação à testemunha. Sob a dose de glifosato 0,50 L ha^{-1} a maior concentração do produto foi observada aos 15 DAA em 0,05 $\mu\text{g g}^{-1}$ e 0,03 $\mu\text{g g}^{-1}$ aos 30 DAA. Para o glifosato a 1,0 L ha^{-1} as maiores concentrações de resíduo de glifosato foram observadas principalmente aos 15 e 30 DAA, com 0,07 e 0,03 $\mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente, com

posterior redução e estabilização dos 45 DAA até 60 DAA, com valores de 0,01 e 0,02 $\mu\text{g g}^{-1}$ respectivamente, indicando que à medida que foi aplicada a maior dose foi necessário maior tempo para degradação do maturador, o comportamento dos resíduos no resto das folhas se deve à interferência do produto em maior área foliar, sendo mais claro o comportamento ou tendência (Figura 12 B).

Nos ponteiros foi observada maior quantificação de glifosato quando comparado aos outros tecidos analisados, mas não houve interação entre T e DAA ($p=0,1837$) (Figura 12C). Em média, nos tratamentos com doses de glifosato, 0,45; 0,50 e 1,00 L ha^{-1} foram verificadas as maiores quantidades de resíduo, do produto com valores de 0,03 $\mu\text{g g}^{-1}$, 0,02 $\mu\text{g g}^{-1}$ e 0,05 $\mu\text{g g}^{-1}$ respectivamente. Em média nas diferentes datas a maior concentração foi aos 15 e 30 DAA, com valores de 0,05 $\mu\text{g g}^{-1}$ e 0,03 $\mu\text{g g}^{-1}$ respectivamente. Já para 45 e 60 DAA, os valores oscilaram de 0,01 e 0,0025 $\mu\text{g g}^{-1}$. Também houve uma pequena quantificação do glifosato de 0,0019 $\mu\text{g g}^{-1}$ na dose de 0,35 L ha^{-1} .

Destaca-se, portanto, que nos diferentes tecidos da parte aérea da planta, principalmente no ponteiro, foram quantificados resíduos de glifosato na menor dose (0,35 L ha^{-1}) até os 60 DAA, indicando que o glifosato não é degradado em sua totalidade.

De acordo com Satchivi et al. (2000) e Cakmak et al. (2009), o glifosato pode alcançar sítios metabólicos ativos, como raízes e meristemas, o que explica o fato da maior quantificação de glifosato no ponteiro neste estudo. Os valores de glifosato quantificados nas folhas foram baixos, possivelmente porque no período até 15 DAA o produto pode ter sido translocado para diferentes partes da planta, já que a velocidade de translocação do glifosato para as raízes está associada ao transporte de açúcares no floema, que é rápido e, em geral, pode variar de 0,3 a 1,5 m h^{-1} (TAIZ; ZEIGER, 2013). Segundo Duke (2012), o glifosato é estável e metabolizado muito lentamente, com pequena degradação detectável ocorrendo em um longo período de tempo (GRUYS; SIKORSKI, 1999).

Carbonari et al. (2014), aplicando glifosato em plantas jovens utilizando a dose de 360 g e.a. ha^{-1} , encontraram a 21 DAA, níveis baixos, níveis similares foram quantificados neste estudo, independente da concentração, o período de detecção foi similar, em que aos 15 e 30 DAA houve maior quantificação nos diferentes tecidos analisados.

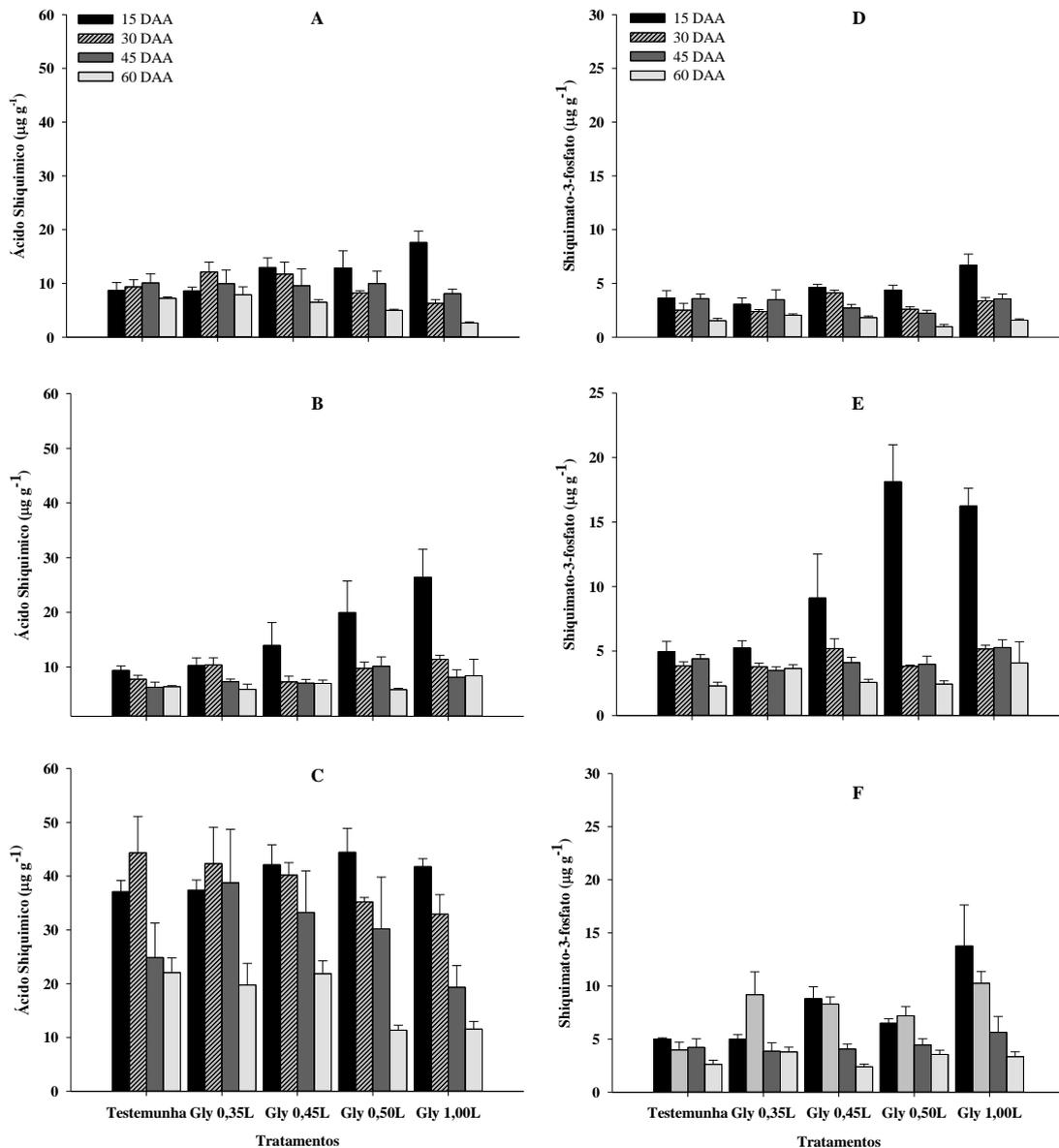
Também, segundo King et al. (2001), a aplicação de glifosato em baixa dose acumula-se nos tecidos drenos a altas concentrações e uma aplicação de $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$ pode levar à acumulação acima de $0,05 \text{ ppm}$ em órgãos drenos da planta. Em experimentos com glifosato marcado por isótopos radioativos foram encontradas altas concentrações de glifosato no meristema apical, colmos, raízes e em áreas de alta atividade metabólica (HILTON et al., 1976, SMITH; OEHME, 1992) e resultados similares foram encontrados por Hayamichi (1991), quando utilizou glifosato C^{14} em cana-de-açúcar, encontrando até $4,29 \text{ ppm}$ no meristema apical (ponteiro).

Com relação a quantificação de ácido chiquímico nos diferentes tecidos, folha +1, restante de folhas e ponteiro (Figuras 13A, B e C, respectivamente) houve, de maneira geral, aumento do composto após aplicação do glifosato nas diferentes doses.

Para a folha +1 houve efeito da interação entre T e DAA ($p=0,002$) (Figura 13A), e somente sob a dose de glifosato $1,00 \text{ L ha}^{-1}$ foi observado a maior quantidade do composto, diferenciando dos demais tratamentos. Como tendência pode-se observar aos 15 DAA que à medida que foram aplicadas doses crescentes de glifosato houve aumento de ácido chiquímico, na faixa de 48% a 103% para os tratamentos glifosato a $0,50$ e $1,00 \text{ L ha}^{-1}$, respectivamente, em relação à testemunha. Os tratamentos com doses mais baixas ($0,35$ e $0,45 \text{ L ha}^{-1}$) tiveram comportamento similar ao da testemunha. Em média, foi observado que a maior concentração do produto ocorreu aos 15 DAA, $17,6 \mu\text{g g}^{-1}$, enquanto na testemunha a média foi de $8,7 \mu\text{g g}^{-1}$.

Mesmo comportamento foi observado no tecido com o total de folhas (Figura 13B), em que aos 30 DAA o glifosato $1,00 \text{ L ha}^{-1}$ incrementou o conteúdo de ácido chiquímico em 47% e o glifosato $0,50 \text{ L ha}^{-1}$ em 38% em relação à testemunha. Para a testemunha a maior concentração foi observada aos 15 e 30 DAA ($9,4$ e $7,8 \mu\text{g g}^{-1}$). No entanto os valores foram inferiores aos demais tratamentos avaliados nesse mesmo período, em que foram observados sob glifosato $0,35 \text{ L ha}^{-1}$, $10,3$; $10,4$ e $7,3 \mu\text{g g}^{-1}$, aos 15, 30 e 45 DAA, respectivamente, sob glifosato a $0,45 \text{ L ha}^{-1}$, $14,0 \mu\text{g g}^{-1}$, sob glifosato a $0,50 \text{ L ha}^{-1}$, $20,0$; $10,1$ e $10,1 \mu\text{g g}^{-1}$ aos 15, 30 e 45 DAA, respectivamente, e sob glifosato a $1,00 \text{ L ha}^{-1}$ o maior valor foi aos 15 DAA, com $26,4 \mu\text{g g}^{-1}$, em relação às demais datas de amostragem.

Figura 13 - Conteúdo de ácido chiquímico e shiquimato-3-fosfato em folhas +1 (A, D), restante das folhas (B, E) e ponteiros (C, F) em cana-de-açúcar submetida à aplicação de doses de glifosato aos 60 DAC. Gly= Glifosato.



No caso dos ponteiros, em média, houve incremento do conteúdo de ácido chiquímico aos 15 DAA, bem como aos 45 DAA, à medida que foram aplicadas doses crescentes de glifosato (Figura 13C). Esses resultados estão em concordância com Meschede (2009) onde o autor encontrou maior conteúdo de ácido chiquímico à medida que aumentou as doses de glifosato de 200 para 400 mL ha^{-1} aplicado como maturador, e também com Castro et al. (2016) que observaram maior acúmulo de

ácido chiquímico quando aplicou glifosato ($360 \text{ g e.a. ha}^{-1}$) em eucalipto, principalmente, na parte superior da planta.

No entanto resultados de estudos diferem com estes resultados, por exemplo Carbonari et al. (2014) não encontraram incremento do composto em cana-de-açúcar quando aplicadas doses inferiores ou superiores as utilizadas neste trabalho (72 g i.a. de glifosato). Acima dessa dose (720 g i.a.), as concentrações não foram suficientes para causar alteração ou efeitos na planta que aceleram a morte ou senescência mais rápida, neste trabalho houve alteração do metabolismo da planta, observada através de sintomas como folhas secas, desidratação do colmo, efeitos que levam a morte da planta no estágio de maturação.

O conteúdo de ácido chiquímico pode diferir dependendo, da dose, espécie e do estágio vegetativo da planta e, neste contexto, Matallo et al. (2009) encontraram diferença no conteúdo do composto em cana-de-açúcar em duas idades após do plantio, e em outras espécies como braquiária sem aplicação de glifosato. Também foram observados resultados similares com subdoses de glifosato em milho e soja (MATALLO et al., 2014). Segundo o anterior os resultados obtidos neste estudo podem indicar tolerância da variedade ao glifosato.

O chiquimato-3-fosfato é o principal substrato utilizado da reação catalisada pela EPSPs e de maneira geral, houve incremento do composto nos diferentes períodos avaliados, para os diferentes tecidos da planta, folha +1, restante das folhas e ponteiros (Figuras 13D, E e F, respectivamente).

Nas folhas +1 houve interação entre T e DAA ($p=0,0026$) (Figura 13D), em que o glifosato $1,00 \text{ L ha}^{-1}$ apresentou maior quantidade de chiquimato-3-fosfato aos 15 e 30 DAA. Em média, a testemunha e o glifosato $0,35 \text{ L ha}^{-1}$ não apresentaram diferença significativa na concentração do composto nos diferentes períodos avaliados, porém o glifosato $0,45$; $0,50$ e $1,00 \text{ L ha}^{-1}$ apresentaram a maior concentração do composto aos 15 DAA em relação aos demais períodos avaliados. Quanto às doses, em geral, houve tendência de incremento do composto à medida que houve aumento da dose de glifosato

O mesmo padrão foi observado para os tecidos do total de folhas, em que houve interação entre o T e DAA ($p=0,0376$), com diferenças nos diferentes períodos avaliados e para as diferentes doses (Figura 13E). De maneira geral, à medida que aumentou a dose de glifosato houve incremento de chiquimato-3-fosfato,

principalmente para as doses 0,45; 0,50 e 1,00 L ha⁻¹, com posterior degradação a partir dos 30 DAA.

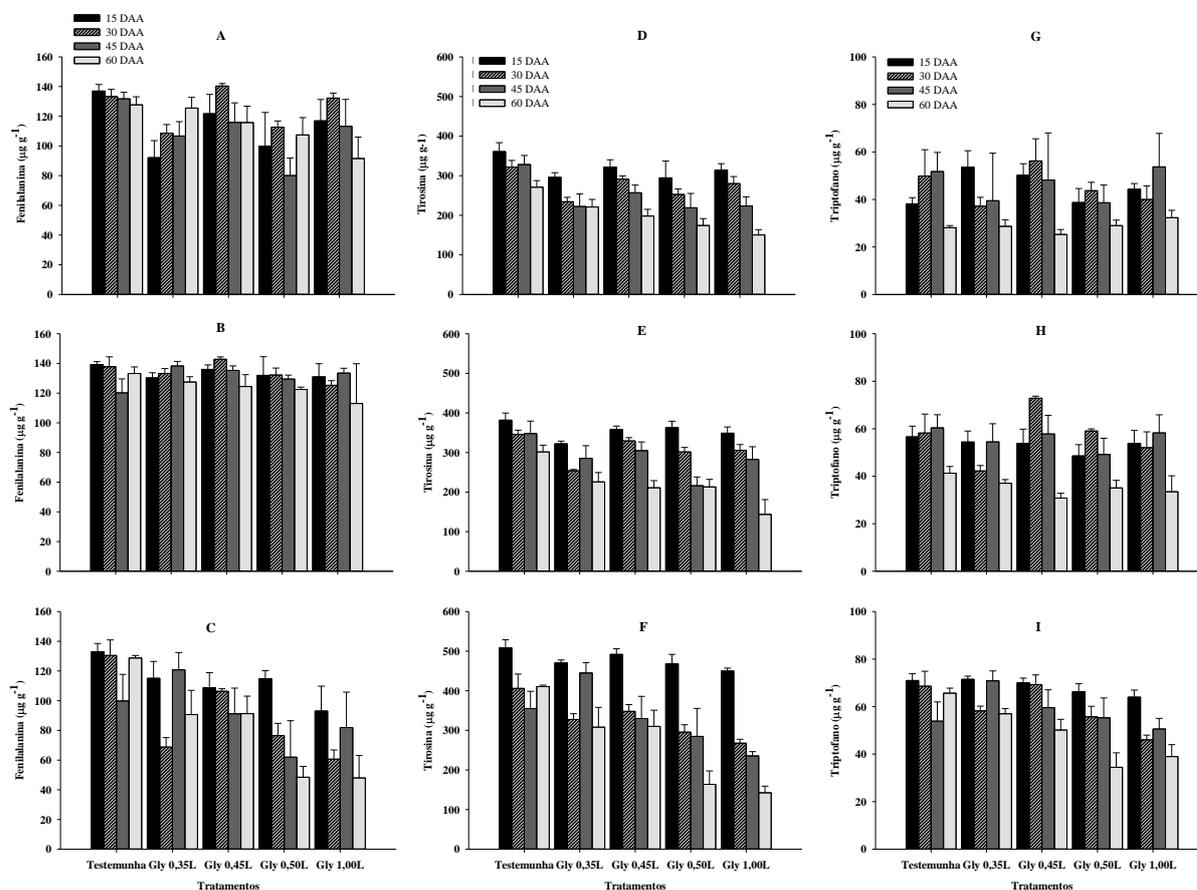
No caso dos tecidos do ponteiro houve efeito da interação entre T e DAA ($p=0,0291$), com diferenças no conteúdo de shiquimato-3-fosfato entre os períodos avaliados ou DAA e entre as doses (Figura 13 F). Os tratamentos glifosato 1,00 e 0,35 L ha⁻¹ incrementaram o composto em 174% e 75%, respectivamente, aos 15 DAA. Aos 30 DAA todos os tratamentos incrementaram em relação à testemunha na faixa de 92% a 158%, aos 45 DAA não houve significância e aos 60 DAA o glifosato nas doses de 0,35; 0,5 e 1,0 L ha⁻¹ aumentaram o composto na faixa de 44% a 69,6%, respectivamente, em relação à testemunha. Para DAA a testemunha não apresentou diferenças, já o glifosato 0,35 L ha⁻¹ teve a maior concentração aos 30 DAA, e glifosato 0,45; 0,50 e 1,00 L ha⁻¹ aos 15 e 30 DAA, e ainda, de maneira geral, apresentaram tendência de incremento à medida que aumentou a dose a partir de 15, 30 e 60 DAA, respectivamente.

De acordo com Carbonari et al. (2014) e Castro et al. (2016) quando há aumento dos níveis do chiquimato-3-fosfato, principal substrato precursor da EPSP é um sinal de inibição da rota metabólica do ácido chiquímico o qual é explicado pelo aumento das concentrações de glifosato nos diferentes tecidos avaliados e pelo incremento nas doses de glifosato. Porém, este aumento foi relatado muito pouco para cana de açúcar, devido à falta de conhecimento certo do mecanismo que atua na rota do ácido chiquímico, no entanto a inibição produz a paralização de crescimento da planta e a energia é armazenada como sacarose nos colmos.

4.1.5.2 Aminoácidos aromáticos

De maneira geral houve redução dos aminoácidos nos diferentes tecidos avaliados (Figura 14). Para fenilalanina avaliada na folha +1 (Figura 14A), em média, houve redução nos tratamentos glifosato 0,50 e 1,00 L ha⁻¹, mas para épocas (DAA) não houve diferença. Para glifosato 0,35 L ha⁻¹ foi observado incremento, porém sem significância com o decorrer do tempo, assim como redução da concentração para os demais tratamentos.

Figura 14 - Concentrações de aminoácidos fenilalanina, tirosina e triptofano em folhas +1 (A, D e G), restante de folhas (B, E e H) e ponteiros (C, D, F) em cana-de-açúcar submetida à aplicação de glifosato aos 60 DAC. Gly= Glifosato. \pm desvio padrão.



Para o total de folhas não houve interação entre T e DAA, assim como não houve diferença entre as épocas de avaliação bem como entre os tratamentos para o conteúdo de fenilalanina, com exceção ao glifosato 1,00 L ha⁻¹, que apresentou redução aos 60 DAA (Figura 14B).

Já para os ponteiros (Figura 14C) houve efeito da interação entre T e DAA ($p=0,0249$), em que aos 30 e 60 DAA houve redução de fenilalanina principalmente pelos tratamentos glifosato 0,50 e 1,00 L ha⁻¹. Quanto aos períodos avaliados (15 a 60 DAA), não foi observada alteração da concentração de fenilalanina na testemunha e glifosato 0,45 L ha⁻¹, porém sob glifosato 0,35 L ha⁻¹ foi verificada redução aos 30 DAA, e sob glifosato 0,50 L ha⁻¹ houve redução do aminoácido a partir dos 15 DAA, enquanto sob glifosato 1,00 L ha⁻¹ foram verificados os valores mais baixos de fenilalanina com o decorrer do tempo. Em geral houve redução do conteúdo de fenilalanina com o decorrer do tempo à medida que aumentou a dose de glifosato. A

redução de fenilalanina tem como consequência a redução do conteúdo de lignina na planta já que é controlada pelo aminoácido e é um produto chave na rota do ácido chiquímico (Gomes et al. 2014).

Para o aminoácido tirosina em folhas +1 houve redução em todos os tratamentos, sendo maior para glifosato 0,50 e 1,00 L ha⁻¹ e a partir dos 30 DAA houve redução em todos os tratamentos (Figura 14D).

Nos tecidos do total de folhas houve interação entre T e DAA ($p < 0,0046$) (Figura 14E). Na testemunha não houve efeito na concentração de tirosina com o decorrer do tempo, porém sob glifosato 0,35 L ha⁻¹ houve redução a partir dos 30 DAA. Já para glifosato 0,45 L e 0,50 L ha⁻¹ houve a redução a partir de 45 DAA e para glifosato 1,00 L ha⁻¹ o valor mais baixo foi observado aos 60 DAA.

Para os tecidos dos ponteiros houve interação entre T e DAA ($p = 0,0023$) (Figura 14F). A partir dos 30 DAA houve redução da concentração de tirosina, contudo sob glifosato 0,50 e 1,00 L ha⁻¹ houve redução em maior magnitude. Na testemunha e no glifosato 0,45 L foi verificada redução a partir de 15 DAA, mas foram estáveis com o decorrer do tempo. Glifosato 0,35 L ha⁻¹ reduziu a concentração de tirosina aos 15 e 45 DAA, e o glifosato 0,50 e 1,00 L ha⁻¹ reduziram a tirosina a partir dos 30 DAA, sendo 60 DAA o período com maior redução.

De maneira geral a aplicação de glifosato a partir de 0,45 até 1,0 L ha⁻¹ reduziram consideravelmente os níveis do aminoácido tirosina, sendo observada a menor concentração de tirosina aos 60 DAA. A redução de tirosina nos tecidos avaliados indica que a planta foi afetada pelo glifosato nas diferentes doses aplicadas com efeito no fotosistema II, já que segundo Gomes et al. (2014) a tirosina está associada na cadeia de transporte de elétrons e redução de fotossíntese na planta, por tanto isso explica a redução do conteúdo de clorofila nas folhas após da aplicação de glifosato.

No caso de triptofano nas folhas +1 houve diferença para os períodos avaliados, em que aos 60 DAA foi observado o valor mais baixo, entretanto, não houve alteração pelas doses aplicadas (Figura 14G).

Já para os tecidos do total de folhas houve diferença no conteúdo de triptofano somente aos 30 DAA, em que os tratamentos glifosato 0,45 e 0,50 L ha⁻¹ reduziram o aminoácido em maior magnitude até os 60 DAA (Figura 14H).

No ponteiro houve diferença no conteúdo de triptofano entre os DAA, em que na testemunha não foi alterada a concentração desse aminoácido nas épocas

avaliadas, sob glifosato 0,35 L ha⁻¹ houve redução dos valores aos 30 e 60 DAA, enquanto sob glifosato 0,45 e 0,50 L ha⁻¹ foi constatada redução a partir dos 60 DAA, e sob glifosato 1,00 L ha⁻¹ a redução de triptofano ocorreu a partir dos 30 DAA e sem alteração até os 60 DAA (Figura 14I).

Em geral, à medida que foram aplicadas doses maiores de glifosato houve maior redução do aminoácido triptofano, sendo observada a maior redução aos 60 DAA. No entanto a redução deste aminoácido foi em menor intensidade quando comparado com fenilalanina e tirosina. Segundo Castro et al. (2016), o triptofano é menos sensível ao glifosato, devido a diferenças nas afinidades de enzimas com o corismato, e Gomes et al. (2014) indicaram que a inibição da rota metabólica do ácido chiquímico pode levar a prevenir a biossíntese de auxina (ácido indolacético) devido a que triptofano é precursor da auxina na rota metabólica de ácido chiquímico, portanto a variação de triptofano varia segundo o conteúdo de auxina na planta. Os diferentes efeitos na planta pela redução da concentração de aminoácidos têm efeito no metabolismo da planta evitando gasto de energia e armazenando açúcares no colmo.

4.1.5.3 Resíduos de sulfometurom-metílico em matéria seca

Para resíduos de sulfometurom-metílico, utilizando uma única dose, o produto foi detectado e quantificado nos diferentes órgãos da planta.

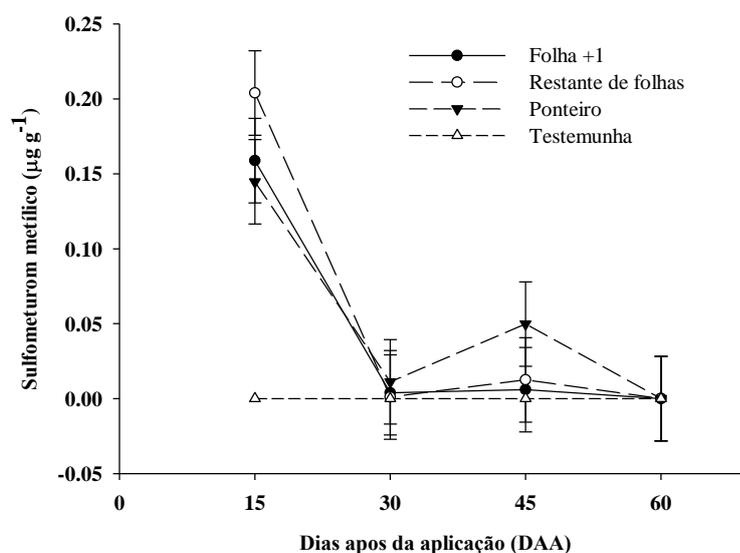
Em termos de folha +1, não houve interação entre T e DAA ($p=0,0669$) (Figura 15). Aos 15 DAA houve maior concentração de sulfometurom-metílico, no entanto, foi observado a redução de sua concentração com o decorrer do tempo em 96% aos 45 DAA e até 100% aos 60 DAA, portanto, igualando-se à testemunha (Figura 15).

Para o restante das folhas houve interação entre T e DAA ($p=0,0193$), em que aos 15 DAA foi verificada a maior concentração de sulfometurom-metílico, com posterior redução de 94% aos 45 DAA e de 100% aos 60 DAA, indicando a degradação ou transformação em outro composto (Figura 15).

Já nos ponteiros não houve efeito da interação entre T e DAA ($p=0,4155$), no entanto aos 15 DAA foi verificada a maior concentração de sulfometurom-metílico, seguida de redução de 66% aos 45 DAA e de 100% aos 60 DAA. Pode-se observar que houve menor redução do produto no ponteiro que nos demais órgãos, e possivelmente pode ser um indicativo de acúmulo do produto na parte meristemática

da planta onde há maior atividade metabólica a qual é reduzida significando maior acúmulo de sacarose nos primeiros quinze dias após da aplicação, no entanto de maneira gradual ou lenta em comparação ao maturador glifosato (Figura 15).

Figura 15 - Resíduos de sulfometurom-metílico em folhas +1, restante de folhas e ponteiros em cana-de-açúcar submetida à aplicação de sulfometurom-metílico aos 60 DAC.



4.1.5.4 Resíduos de trinexapaque-etílico na matéria seca

Na quantificação de resíduos somente foram encontrados resíduos de trinexapac (ácido livre), mas não houve presença de trinexapaque-etílico após a aplicação de trinexapaque-etílico como maturador em folhas +1, restante das folhas e ponteiros. Não houve quantificação de trinexapaque-etílico devido a que é rapidamente metabolizado a seu metabolito ácido livre, quem tem ou possui atividade biológica indicando que 48 após da aplicação trinexapaque-etílico é completamente convertido em forma de ácido livre (HIESTRA; KOK, 2003).

Na folha +1 não foi verificado efeito da interação entre T e DAA ($p=0,4892$) (Figura 16A), em que entre 15 e 60 DAA houve similaridade das concentrações de trinexapac (ácido livre) entre as doses de trinexapaque-etílico, as quais foram similares à testemunha. Em média os valores dos DAA oscilaram entre 0,22 a 0,42 $\mu\text{g g}^{-1}$, mas sem diferenças significativas.

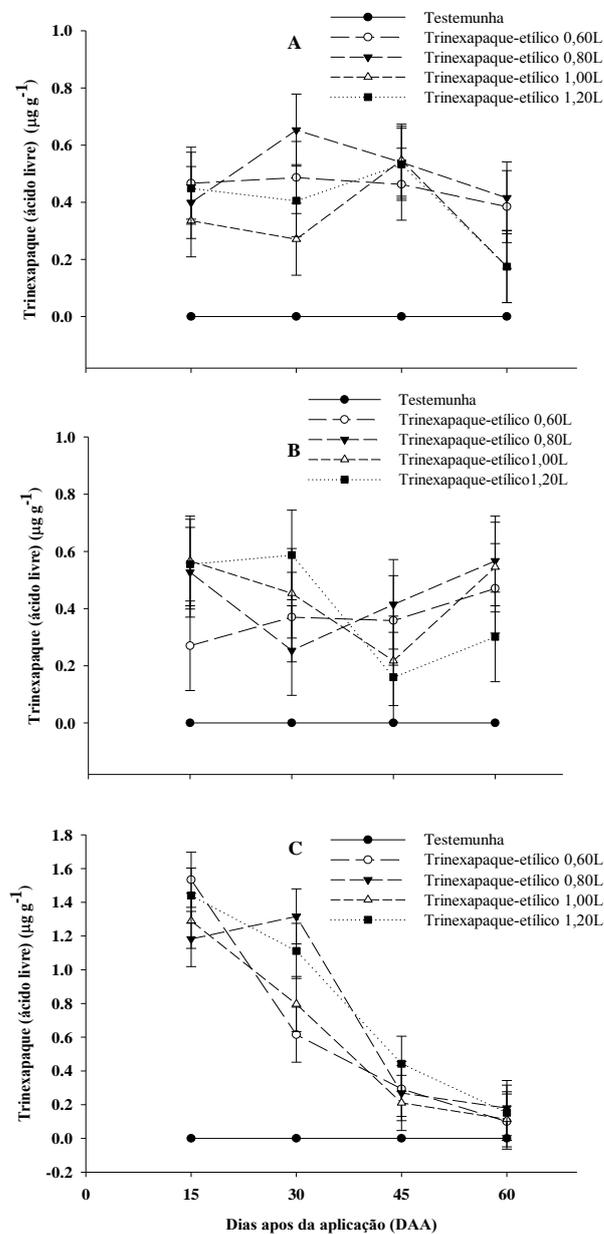
Similar comportamento foi para o restante das folhas (Figura 16B), onde não houve interação entre T e DAA ($p=0,3638$), no entanto em média todos os tratamentos

superaram à testemunha ($0,0 \mu\text{g g}^{-1}$) na concentração de trinexapaque (ácido livre), oscilando os valores em $0,29$ a $0,48 \mu\text{g g}^{-1}$ nos tratamentos aplicados, já para os DAA os valores oscilaram na faixa de $0,29$ a $0,36 \mu\text{g g}^{-1}$ sem diferenças significativas.

Para o ponteiro não houve interação entre T e DAA ($p=0,1946$) (Figura 15 C). No entanto os tratamentos tiveram comportamento similar, mas superando à testemunha na concentração de trinexapaque (ácido livre), onde os valores oscilaram na faixa de $0,50$ a $0,77 \mu\text{g g}^{-1}$ assim mesmo a 15 e 30 DAA houve maior concentração de trinexapaque (ácido livre) com valores de $0,93$ e $0,77 \mu\text{g g}^{-1}$ com redução da concentração de trinexapaque (ácido livre) a 45 e 60 DAA.

De maneira geral a redução de trinexapaque-etílico com o decorrer do tempo indica que o processo de maturação foi atingido, no entanto, as concentrações do metabólito foram reduzidas já que possivelmente foram translocadas as raízes da planta onde há concentrações de giberelinas onde indica-se maior concentrações desses hormônios (HIESTRA; KOK, 2003).

Figura 16 - Resíduos do metabólito trinexapaque (ácido livre) em folhas +1 (A), restante de folhas (B) e ponteiros (C) em cana-de-açúcar, submetida à aplicação de trinexapaque-etílico aos 60 DAC.



4.1.6 Análises bioenergéticas

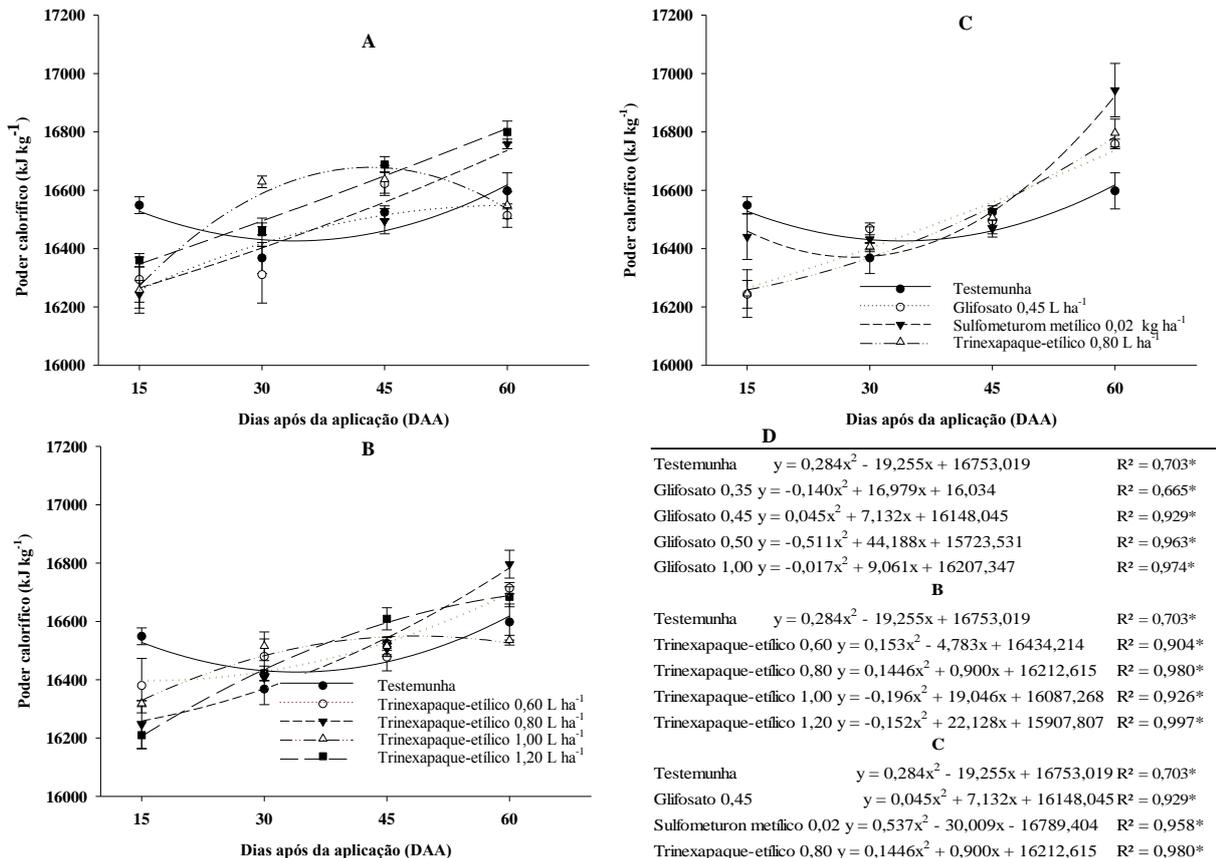
4.1.6.1 Poder calorífico (PC)

O valor energético do palhiço foi medido na época de 60 DAC com intervalos de 15 dias até os 60 DAA.

Sob os tratamentos de doses de glifosato houve efeito da interação entre T e DAA ($p < 0,0001$), e com o decorrer do tempo houve incremento do poder calorífico (PC) (Figura 17A), em que os tratamentos foram ajustados por modelos quadráticos (Figura 17D). Aos 15 DAA os tratamentos com as diferentes doses foram inferiores à testemunha e os valores oscilaram entre 16.549,00 kJ kg⁻¹ (testemunha) a 16.243,50 kJ kg⁻¹ (glifosato a 0,45 L ha⁻¹). Já aos 30 DAA somente o glifosato 0,45 L ha⁻¹ com poder calorífico de 16.628,8 kJ kg⁻¹ superou a testemunha em 1,6%. Aos 45 DAA os tratamentos nas doses de 1,00; 0,50 e 0,35 L ha⁻¹, com valores de PC de 16.688,3; 16.637,8 e 16.622,8 kJ kg⁻¹, respectivamente, superaram a testemunha em 1,0%; 0,7% e 0,6%, respectivamente. E aos 60 DAA o glifosato nas doses de 1,00 e 0,50 L ha⁻¹ proporcionou PC de 16.800,00 e 16.759,00 kJ kg⁻¹, respectivamente, correspondendo a aumentos de 1,2% e 0,97%, respectivamente, em relação à testemunha.

Todos os tratamentos alcançaram o maior acúmulo de PC entre 45 e 60 DAA, sendo que todos os tratamentos nas diferentes doses superaram a testemunha, quem permaneceu estável durante as datas avaliadas, de acordo com o $R^2 = 0,703$, sendo similar ao glifosato 0,35 L ($R^2 = 0,703$), indicando que o PC em cana-de-açúcar não se altera nos primeiros meses de maturação natural e sob a menor dose de glifosato. Já para os tratamentos com glifosato nas doses de 0,45; 0,50; e 1,00 L ha⁻¹ o incremento do PC ao longo do tempo foi explicado pelo R^2 entre 0,929 e 0,974 (Figura 17D).

Figura 17 - Poder calorífico (PC) no palhço em função da aplicação de A) doses de glifosato, B) doses de trinexapaque-etílico, C) maturadores em doses recomendadas aos 60 DAC, e D) equações de ajustes matemáticos. Igarçu do Tietê/SP, 2015. * = significativo ao nível de 5% de probabilidade. Cada barra indica o valor médio de quatro repetições \pm desvio-padrão.



Para os tratamentos de trinexapaque-etílico houve efeito da interação entre T e DAA ($p < 0,0001$) e houve incremento do PC pela aplicação das doses com o decorrer das épocas amostradas (Figura 17B), em que os valores foram ajustados por modelos quadráticos (Figura 17D). Aos 15 DAA todos os tratamentos de doses foram inferiores à testemunha em média 1,6 %, porém aos 30 DAA todos as doses incrementaram o PC em relação à testemunha, na ordem de 0,9% a 0,24%. Aos 45 DAA sob trinexapaque-etílico 0,60 L ha⁻¹ houve redução do PC em 0,3% em relação à testemunha e o restante dos tratamentos forma significativamente similar à testemunha, e aos 60 DAA os tratamentos trinexapaque-etílico 0,80 e 0,60 L ha⁻¹ superaram à testemunha em 1,2% e 0,7%, respectivamente (Figura 17B).

Quanto às épocas de amostragem, os tratamentos incrementaram o PC entre 45 e 60 DAA, em diferentes magnitudes de acordo com o tratamento. A testemunha

apresentou incremento ($R^2=0,703$), no entanto com valores inferiores quando comparado aos tratamentos com trinexapaque-etílico, explicados pelas análises de regressão, em que os valores oscilaram entre $R^2= 0,904$ (trinexapaque-etílico 0,60 L ha⁻¹) e $R^2= 0,997$ (trinexapaque-etílico 1,20 L ha⁻¹) (Figura 17 D).

Sob os tratamentos com as doses comerciais de glifosato, trinexapaque-etílico e sulfometurom-metílico houve efeito da interação entre T e DAA ($p=0,0003$) (Figura 17C) e os valores de PC dos tratamentos foram ajustados por modelos quadráticos (Figura 17D). Aos 15 DAA foi verificado que o trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹ e glifosato 0,45 L ha⁻¹ reduziram o PC com valores de 16.246,00 e 16.243,00 kJ kg⁻¹ respectivamente, enquanto o sulfometurom-metílico 0,02 kg ha⁻¹ com valor de 16.440,5 kJ kg⁻¹ teve comportamento similar ao da testemunha (15.549,00 kJ kg⁻¹). Aos 30 DAA todos os tratamentos comerciais glifosato, sulfometurom-metílico e trinexapaque-etílico superaram a testemunha em 0,7%, 0,4% e 0,3%, respectivamente, enquanto aos 45 DAA não houve diferença entre os tratamentos. Já aos 60 DAA os tratamentos sulfometurom-metílico 0,02 kg, trinexapaque-etílico 0,8 L ha⁻¹ e glifosato 0,45 L ha⁻¹ com valores de PC de 16.943,3; 16.796,50 e 16.759,00 kJ kg⁻¹ respectivamente superaram a testemunha (15.598,00 kJ kg⁻¹) em 2,08%, 1,20% e 0,97%, respectivamente.

Todos os tratamentos alcançaram o maior valor de PC aos 60 DAA, no entanto, a testemunha foi estável a partir dos 15 DAA, com significância $R^2=0,703$ e valores inferiores quando comparados aos tratamentos aplicados, que apresentaram ajustes significativos no modelo matemático acima de $R^2=0,929$ a 0,980 (Figura 17D).

De maneira geral houve alteração do PC em todas as datas avaliadas até 60 DAA. Os tratamentos com maiores doses de glifosato e trinexapaque-etílico superaram a testemunha a partir dos 30 DAA enquanto o sulfometurom-metílico 0,02 kg ha⁻¹ proporcionou efeito mais lento na planta, mas com maior valor ao momento da colheita, ou seja, aos 60 DAA. Provavelmente as diferenças observadas foram devido ao mecanismo de ação dos produtos maturadores, especialmente a dose alta de glifosato e a dose de sulfometurom-metílico reduzem consideravelmente a umidade na planta e também o grau de umidade do palhiço, segundo Jenkins et al. (1998) o PC é reduzido quando o conteúdo de umidade é maior, alterando as estruturas celulares das folhas (VIANA et al. 2015a; 2016) e do ponteiro, especialmente no conteúdo da água, assim também devido à estrutura dos carboidratos, a biomassa ou

palhiço é altamente oxigenada, já que o teor de carbono tem uma correlação positiva com o PC (JENKINS et al., 1998).

De acordo com Jasper et al. (2013), não houve significância em PC quando avaliaram diferentes subdoses de glifosato em estágio de perfilhamento da cana, no entanto neste estudo houve diferença provavelmente pelas altas doses do produto e estágio fisiológico de maturação. De acordo com Bertozzo et al. (2013), os valores médios de PC superior e inferior oscilam em 18.172 e 16.770 kJ kg⁻¹ com 0% de umidade, esses valores colocam o palhiço em condições de geração térmica.

Ainda, Lizcano (2015), avaliando três variedades de cana-de-açúcar com diferentes lâminas de irrigação em três diferentes níveis de maturação, não encontrou interação nem diferenças no PC em diferentes órgãos da planta quando fez a partição da biomassa (bagaço, bainha, folhas e ponteiros), em que a média nas folhas e nos ponteiros foi de 17.640 e 17.840 kJ kg⁻¹, respectivamente. O autor não aplicou nenhum produto maturador, no entanto esperava-se que as diferentes lâminas de irrigação e períodos de maturação (estresse hídrico) alterassem o PC. Os resultados deste estudo indicaram que a aplicação de maturadores em dose altas de glifosato e trinexapaque-etílico, assim como sulfometurom-metílico melhoraram o PC da variedade RB966928 durante a maturação em diferentes intensidades e períodos após da aplicação dos produtos, sendo uma alternativa na alteração da estrutura das folhas a pesquisar e facilitar o processo de produção de etanol 2G.

4.1.6.2 Lignina, celulose e hemicelulose no palhiço (%)

Para valores de lignina, celulose e hemicelulose em função da aplicação de doses de glifosato não houve efeito da interação entre T e DAA ($p=0,0720$; $p=0,072$; $p=0,0689$, respectivamente), assim como as médias de lignina, celulose e hemicelulose oscilaram entre 17,5 % a 16,25 %, 32,8 a 31,7% e 34,6 a 33,4% respectivamente, sem diferenças com a testemunha. Já para as médias das datas de avaliação (DAA) foram observadas diferenças, em que aos 30 e 45 DAA houve o maior incremento de lignina % (18,4 e 17,4%) em relação aos 15 DAA (15,4%), com acréscimo de 19,4% e 12,6%, respectivamente, enquanto para celulose houve redução até os 45 DAA em 5,5% e similar comportamento foi observado para hemicelulose, com decréscimo de 5,7% (Tabela 7).

Para os tratamentos com doses de trinexapaque-etílico não houve efeito da interação entre T e DAA para lignina ($p=0,5535$), celulose ($p=0,5533$) e hemicelulose ($p=0,5536$), e da mesma forma não houve diferença entre as médias que oscilaram entre 32,1 a 31,0% em lignina, celulose em 32,1 a 31,00% e em 33,8 a 32,6% para hemicelulose. No entanto, houve diferenças no conteúdo de lignina, celulose e hemicelulose com o decorrer do tempo (DAA), em que houve incremento para a lignina de 23,6% dos 15 DAA para 30 DAA, e aos 60 DAA houve redução de 14,2%. Para celulose e hemicelulose encontrou-se redução aos 30 DAA de 10,2% e 10,7%, respectivamente (Tabela 7).

Quanto aos efeitos dos maturadores em doses comerciais, não houve interação entre T e DAA para lignina, celulose e hemicelulose ($p=0,2199$) e os tratamentos não apresentaram diferenças para nenhuma das variáveis analisadas. Com o decorrer do tempo a lignina apresentou o maior incremento aos 30 DAA, de 18,3%, e houve redução de 6,3% aos 60 DAA em relação aos 15 DAA (15,9%). Já para celulose e hemicelulose foi encontrada redução de 8,2% e 8,6%, respectivamente, aos 60 DAA (Tabela 7).

Meschede et al. (2012) encontraram redução de lignina com a aplicação de glifosato (200 mL ha^{-1}) aos 30 DAA, mas não aos 15 DAA, ao contrário deste estudo, onde o glifosato incrementou a lignina, celulose e hemicelulose aos 30 DAA. O crescimento vegetativo da planta e as condições ambientais no momento da aplicação podem ter incidido no pouco efeito dos maturadores sobre as variáveis avaliadas, devido a produção de fibra. Segundo Ogata (2013), diversos fatores que influem na partição de celulose, hemicelulose e lignina nos materiais lignocelulósicos, como a lignina, quem pode variar no bagaço pela variedade, a maturidade, etc., assim também o teor de fibra no bagaço, pode ser influenciado pela variedade e disponibilidade de água de irrigação no solo, independente das dose e produtos. Além disso o processo de lignificação nas plantas é um processo irreversível que é procedido pelo acúmulo de carboidratos e proteínas (SANT'ANNA et al., 2013), sendo esta a razão pela qual os tratamentos de glifosato reduziram o teor de lignina com maior acúmulo de açúcares,

Segundo van Soest (1994), à medida que a planta cresce e se desenvolve, as porções fibrosas aumentam, enquanto o teor proteico e a digestibilidade da fitomassa seca reduzem, devido ao fato de que lignina é um polímero das paredes celulares das plantas (KIYOTA et al., 2015). Jasper et al. (2013) não encontraram alterações no teor

de lignina quando aplicaram diferentes herbicidas, entre eles o glifosato, e segundo Velini (2010), os efeitos deste herbicida são transitórios nas sínteses de lignina. Santos et al. (2011) indicam que o poder calorífico superior (PCS) aumenta à medida que aumentam os teores de lignina, neste trabalho houve muita variação nos dados de compostos lignocelulosicos, por tanto não foi possível fazer obter uma correlação dos dados. Apesar de não encontrarem diferenças ou alterações, de acordo com Jutakanoke et al. (2012), os maiores componentes nas folhas de cana-de-açúcar foram celulose 38%, hemicelulose 23% e lignina 15,6 %, em base a peso/peso ou base matéria seca, já Franco et al. (2013) encontraram no ponteiro, em média de 8 variedades, 21,7% de lignina, 39,7% de celulose e 32% de hemicelulose, diferindo do conteúdo de celulose deste estudo, já que não foi considerado a folha seca.

Tabela 7 - Concentrações de lignina, celulose e hemicelulose (%) em cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores a 60 DAC. Igarauçu do Tietê/SP, 2015.

Tratamento (A)	Lignina	Celulose	Hemicelulose	Lignina	Celulose	Hemicelulose	Lignina	Celulose	Hemicelulose	
Test.	17,1	32,0	33,8	Test.	17,1	32,0	Test.	17,1	32,0	33,8
Gli 0,35	16,3	32,7	34,5	TE 0,60	18,2	31,0	Gly 0,45	17,3	31,8	33,5
Gli 0,45	17,3	31,8	33,5	TE 0,80	17,3	31,5	SM 0,02	17,1	32,0	33,7
Gli 0,50	16,3	32,8	34,6	TE 1,00	17,6	32,8	TE 0,80	17,3	31,8	33,5
Gli 1,00	17,5	31,7	33,4	TE 1,20	17,0	32,1				
DMS	1,5	1,4	1,5		1,1	1,0		1,9	1,7	1,7
DAA (B)										
15	15,5c	33,5a	35,4a	15,5c	33,5a	35,4a	15,9b	33,1a	33,1a	
30	18,4a	30,7c	32,3c	19,1a	30,1c	31,6c	18,8a	32,2a	32,2a	
45	17,4ab	31,7bc	33,4bc	17,4ab	31,7b	33,5b	17,2b	31,9a	31,9a	
60	16,2bc	32,8ab	34,6ab	17,7bc	31,5b	33,1b	16,9b	30,4b	30,4b	
DMS	1,3	1,2	1,4	1,1	1,1	1,2	1,6	1,5	1,5	
p valor A	0,3023 ^{ns}	0,3023 ^{ns}	0,3152 ^{ns}	0,1958 ^{ns}	0,1958 ^{ns}	0,1957 ^{ns}	0,1918 ^{ns}	0,1918 ^{ns}	0,1919 ^{ns}	
p valor B	0,0002 [*]	0,0002 [*]	0,0002 [*]	<0,0001 ^{**}	<0,0001 ^{**}	<0,0001 ^{**}	0,0053 [*]	0,0053 [*]	0,0053 [*]	
p valor Ax B	0,0720 ^{ns}	0,072 ^{ns}	0,0689 ^{ns}	0,5535 ^{ns}	0,5533 ^{ns}	0,5536 ^{ns}	0,2199 ^{ns}	0,2199 ^{ns}	0,2199 ^{ns}	
CV%	12,3	6,01	6,27	10,2	5,2	5,5	12,6	6,4	6,6	

OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na horizontal (DAA= Dias após da aplicação); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade; Tratamentos 5% DMS, épocas 5% DMS. Gli=Glifosato, TE=Trinexapaquetílico, SM=Sulfometurom-metilíco 0,02 kg, Test.=Testemunha.

4.2 Produtividade

4.2.1 Produção de cana (TCH = Toneladas de cana ha⁻¹)

A produtividade de colmos (t ha⁻¹, TCH) em cana-planta sob efeito da aplicação das doses de glifosato e a TCH em cana-soca sob efeito residual da aplicação em cana-planta pode ser observado na Tabela 8. Em cana-planta foi verificado efeito da interação entre T e DAC ($p=0,0129$). Para os 15 DAC não foi encontrada diferenças entre os tratamentos ($p=0,3638$), em que os valores oscilaram entre 115,5 a 136,0 t ha⁻¹. Aos 30 DAC houve diferença entre os tratamentos, em que a dose de glifosato 1,00 L ha⁻¹ promoveu redução na TCH em 15,3% em relação à testemunha. Quando os tratamentos foram aplicados na época de 45 DAC as doses de glifosato 0,50; 0,45 e 1,00 L ha⁻¹ causaram redução na TCH em 16,1%, 16,6% e 18,1%, respectivamente, em relação à testemunha. Na época de aplicação de 60 DAC, foi observado que as doses de glifosato 0,50; 1,00 e 0,45 L ha⁻¹ reduziram em 16,75%, 18,4% e 21,8%, respectivamente, em relação à testemunha (Tabela 8).

Em média, o tratamento de glifosato a 0,35 L ha⁻¹ não proporcionou redução em nenhuma época de aplicação (DAC). Para o glifosato a 0,45 e 0,50 L ha⁻¹ houve redução a partir dos 45 DAC, já para o glifosato a 1,00 L ha⁻¹ houve redução de TCH a partir dos 30 DAC e para o caso da testemunha não houve redução em nenhuma época de aplicação. Os valores de TCH em cana-planta apresentaram coeficientes de determinação (R^2) entre 0,8108 a 0,969, explicando assim o efeito da aplicação nas diferentes DAC. Para os tratamentos de glifosato 0,35 L ha⁻¹ e testemunha as equações matemáticas não foram significativas, indicando estabilidade na produtividade de colmos sem haver prejuízo em nenhuma das épocas de aplicação.

Ao avaliarmos a TCH em cana-soca sob o efeito residual de glifosato aplicado em cana-planta não se encontrou interação entre T e DAC ($p=0,3552$) (Tabela 8). De maneira geral, houve redução em todos os tratamentos aplicados em relação à testemunha. A redução de TCH oscilou na ordem de 4,3% (glifosato 0,45 L ha⁻¹) a 22,3% (glifosato 0,50 L ha⁻¹). Na época de aplicação 45 DAC foi observada a menor produtividade média, 134,2 t ha⁻¹ e 30 DAC apresentou a maior 143,5 t ha⁻¹. Em todas as épocas de aplicação houve queda da produtividade de colmos devido ao efeito residual do produto na soqueira.

Tabela 8 - Produtividade de colmos (t ha⁻¹, TCH), por efeito de glifosato aplicado como maturador em diferentes épocas antes da colheita (DAC), em cana-planta e efeito residual em cana-soca. Igarapé do Tietê/SP, 2015.

Cana-planta	DAC				Média
	60	45	30	15	
Tratamento	-----TCH-----				
Testemunha	116,7Aa	118,6Aa	120,5 Aa	122,8 Aa	119,7
Glifosato 0,35L	107,1ABa	112,7 Aa	114,9 Aa	124,4 Aa	114,8
Glifosato 0,45L	91,1Cb	99,0 Bb	119,4 Aa	115,5 Aa	106,3
Glifosato 0,50L	97,1BCb	99,5Bb	117,7 Aa	125,0 Aa	109,8
Glifosato 1,00L	95,2BCb	97,2 Bb	102,1 Bb	136,0 Aa	107,6
Média	101,4	105,4	114,9	124,7	
Tratamento (T) , p=0,0421*; DMS (T)= 7,5; Dias antes da colheita (DAC), p= <0,0001*; DMS (DAC)= 5,3; TxDAC=0,0129*; CV%= 8,9.					
Cana-soca	-----TCH-----				
Testemunha	153,9	152,1	158,4	150,0	153,7A
Glifosato 0,35 L	136,5	129,2	146,9	144,0	139,1C
Glifosato 0,45 L	147,0	143,7	150,0	146,9	146,9B
Glifosato 0,50 L	122,9	111,5	122,9	120,0	119,3E
Glifosato 1,00 L	134,4	134,7	139,6	130,0	134,6D
	138,9b	134,2c	143,5a	138,1b	
Tratamento (T), p=<0,0001*; DMS (T) = 2,76; Dias antes da colheita (DAC), p=0,0235*; DMS (DAC)= 3,92; TxDAC=0,0205*; CV%= 5,3.					

OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na horizontal (DAC= Dias antes da colheita); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade.

O efeito das diferentes épocas de aplicação dos tratamentos de glifosato em cana-soca, apresentaram de TCH em as quatro épocas de aplicação (Tabela 8).

Na cana-de-açúcar, sob os tratamentos de doses de trinexapaque-etílico em cana-planta não foi verificado efeito da interação entre T e DAC (p=0,1981), bem como não foram observadas diferenças entre os tratamentos (p=0,2902), porém como tendência numérica sob trinexapaque-etílico 1,20 L ha⁻¹ ocorreu o valor de TCH mais baixo, com redução de 7% em relação à testemunha (sem significância) (Tabela 9). Com relação à TCH nas épocas de aplicação em cana-planta, os tratamentos apresentaram redução de 5,9% e 6,1%, aplicando-se aos 45 DAC e 60 DAC, respectivamente, em relação aos 15 DAC. Os valores de TCH em cana-planta apresentaram coeficientes de determinação (R²) significativo somente para trinexapaque-etílico 1,20 L ha⁻¹ de 0,9994, porém para os demais tratamentos não foram significativos (Tabela 9).

A TCH em cana-soca sob o efeito residual de trinexapaque-etílico aplicado em cana-planta teve efeito da interação entre T e DAC ($p < 0,0001$). Quando o trinexapaque-etílico foi aplicado na época de 15 DAC foram verificadas reduções da TCH pelas doses 0,60; 1,00 e 1,20 L ha⁻¹ na ordem de 5,5%, 6,9% e 9,7%, respectivamente, em relação à testemunha.

Na época de 30 DAC somente foi constatado que o trinexapaque-etílico 0,80 L promoveu redução na TCH, de 11,2% comparado à testemunha, enquanto as demais doses assemelharam-se à testemunha. Para a época de 45 DAC houve incremento da TCH em relação à testemunha pelo efeito residual dos tratamentos trinexapaque-etílico 1,20; 1,00 e 0,80 L ha⁻¹, na ordem de 6,2%, 2,7% e 1,4%, respectivamente, sem significância entre estes tratamentos, enquanto o trinexapaque-etílico 0,60 L ha⁻¹ reduziu a TCH em 11% comparado à testemunha. Para 60 DAC os tratamentos trinexapac etil 0,60; 0,80 e 1,20 L ha⁻¹ foram superiores à testemunha, incrementando a TCH em 7,2%, 3,1% e 2,6%, respectivamente, e o trinexapaque-etílico 1,00 L ha⁻¹ reduziu em 8,9%.

O tratamento trinexapaque-etílico a 0,60 L ha⁻¹ apresentou o maior incremento da TCH aos 30 e 60 DAC, em 19,1% e 12,5%, respectivamente, e quando aplicado 45 DAC houve redução de 4,4%. O trinexapaque-etílico a 0,80 L ha⁻¹ apresentou redução aos 30 DAC em 13,5% em relação aos 15 DAC, mas aos 45 DAC e 60 DAC foram similares à época de 15 DAC. O trinexapaque-etílico 1,00 L ha⁻¹ proporcionou incremento quando aplicado a 30 e 45 DAC, na ordem de 14,9% e 11,9%, respectivamente, comparados aos 15 e 60 DAC, sendo que para esta última houve redução de 3% em relação aos 15 DAC. Para trinexapaque-etílico 1,20 L ha⁻¹ houve incremento a partir dos 30 DAC, na faixa de 12,6% a 20,1%, já a testemunha não apresentou significância nas diferentes épocas de aplicação (Tabela 9).

Tabela 9 - Produtividade de colmos ($t\ ha^{-1}$, TCH), por efeito de trinexapaque-etílico aplicado como maturador em diferentes épocas antes da colheita (DAC), em cana-planta e efeito residual em cana-soca. Igarapé do Tietê/SP, 2015.

Cana-planta	DAC				Média
	60	45	30	15	
-----TCH-----					
Testemunha	116,7	118,6	120,5	122,8	119,65
Trinexapaque-etílico 0,60 L	116,7	113,4	127,4	107,5	116,25
Trinexapaque-etílico 0,80 L	118,3	113,8	119,6	124,3	118,86
Trinexapaque-etílico 1,00 L	110,7	118,0	129,5	125,0	120,81
Trinexapaque-etílico 1,20 L	107,9	104,8	110,4	126,5	112,39
Média	114,07b	113,74b	121,36a	121,20a	
Tratamento (T), $p=0,2902^{ns}$; DMS (T) = 8,72; Dias antes da colheita (DAC), $p=0,0310^*$; DMS (T) = 6,76; $TxDAC=0,1731^{ns}$; $CV%=9,0$					
-----TCH-----					
Cana-soca					
Testemunha	153,9Ba	152,1Ba	158,4Aa	150,0Aa	153,6
Trinexapaque-etílico 0,60 L	159,4Aa	140,3Cb	168,8Aa	141,7ABb	152,6
Trinexapaque-etílico 0,80 L	153,2ABa	154,2ABa	140,6Bb	139,6BCc	146,9
Trinexapaque-etílico 1,00 L	141,7Cb	156,2ABa	160,4Aa	139,6BCb	149,5
Trinexapaque-etílico 1,20 L	152,5ABa	161,5Aa	162,7Aa	135,4Cb	153,0
	152,1	152,9	158,2	141,3	
Tratamento (T), $p=0,2494^{ns}$; DMS (T) = 4,17; Dias antes da colheita (DAC), $p=0,0007^*$; DMS (T) = 4,70; $TxDAC=<0,0001^{**}$; $CV%=5,9$					

OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na horizontal (DAC= Dias antes da colheita); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade; Tratamentos 10% DMS, épocas de aplicação 10% DMS.

Não houve efeito da interação entre T e DAC ($p=0,1981$) sobre os tratamentos de maturadores com doses recomendadas. Os tratamentos apresentaram diferenças, em que somente em glifosato a $0,45\ L\ ha^{-1}$ foi observada redução da TCH em 11,3% em relação à testemunha, porém os demais tratamentos foram estatisticamente similares (Tabela 10). Para as épocas de aplicação, os tratamentos apresentaram maior redução quando aplicados a partir dos 45 DAC, sendo aos 60 DAC que houve redução com maior intensidade, na ordem de 9 a 9,6%, respectivamente. Somente sob glifosato $0,45\ L\ ha^{-1}$ houve significância no coeficiente de determinação (R^2) de 0,8108 (Tabela 10).

Tabela 10 - Produtividade de colmos ($t\ ha^{-1}$, TCH), por efeito de sulfometurom-metílico e doses recomendadas (tratamentos comerciais) aplicados como maturador em diferentes épocas antes da colheita (DAC), em cana-planta e efeito residual em cana-soca. Igarapé do Tietê/SP, 2015.

Cana-planta	DAC				Média
	60	45	30	15	
	-----TCH-----				
Testemunha	116,7	118,6	120,5	122,8	119,7A
Glifosato 0,45 L	91,1	99,0	119,4	115,5	106,2B
Sulfometurom-metílico 0,02 kg	115,9	113,4	122,4	126,5	119,5A
Trinexapaque-etílico 0,80 L	118,3	113,8	119,6	124,3	118,9A
Média	110,5b	111,2b	120,3a	122,3a	
Tratamento (T), $p=0,0117^*$; DMS (T) = 6,60; Dias antes da colheita (DAC), $p=0,0008^*$; DMS (T) = 5,48; TxDAC=0,1981 ^{ns} ; CV%= 8					
	-----TCH-----				
Cana-soca					
Testemunha	153,9Aba	152,1Aa	158,4Aa	150,0Ba	
Glifosato 0,45L	147,0Ba	143,8Ba	150,0ABa	146,0Ba	
Sulfometurom-metílico 0,02kg	159,4Aa	156,2Aa	144,8Bb	159,4Aa	
Trinexapaque-etílico 0,80L	153,2ABa	154,2Aa	140,6Bb	162,5Aa	
Tratamento (T), $p=0,0158^*$; DMS (T) = 2,73; Dias antes da colheita (DAC), $p=<0,0585^*$; DMS (DAC) =4,73; TxDAC=0,0014 [*] ; CV%= 4,5					

OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na horizontal (DAC= Dias antes da colheita); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade; Tratamentos 10% DMS, épocas de aplicação 10% DMS

Os resultados obtidos neste estudo concordam com os resultados reportados por Inoue et al. (2011), que indicaram que os tratamentos de sulfometurom-metílico a $0,02\ kg\ ha^{-1}$ e trinexapaque-etílico a $0,80\ L\ ha^{-1}$ não reduzem a produção de colmos após 75 DAA.

Para a TCH em cana-soca sob pelo o efeito residual de sulfometurom- metílico a $0,02\ kg\ ha^{-1}$, trinexapaque-etílico a $0,80\ L\ ha^{-1}$ e glifosato a $0,45\ L\ ha^{-1}$ aplicados em cana-planta, foi encontrado efeito da interação entre T e DAC ($p=0,0014$) (Tabela 10). Aos 15 DAC os tratamentos trinexapaque-etílico a $0,80\ L$ e sulfometurom-metílico a $0,02\ kg\ ha^{-1}$, aumentaram a TCH em 8,3% e 6,3%, respectivamente, em relação à testemunha, e no caso de glifosato a $0,45\ L\ ha^{-1}$, não houve redução da TCH, sendo similar à testemunha. Já para os 30 DAC, os tratamentos trinexapaque-etílico e sulfometurom-metílico reduziram em 11,2% e 8,6%, respectivamente, em relação à testemunha. Para os 45 DAC, somente sob glifosato $0,45\ L$ houve redução na ordem

de 5,5% e para os 60 DAC, os tratamentos aplicados foram estatisticamente similares, com exceção de glifosato a 0,45 L ha⁻¹ que causou redução em 4,5% na TCH

Em média os tratamentos sulfometurom-metílico a 0,02 kg ha⁻¹ e trinexapaque-etílico a 0,80 L ha⁻¹ causaram redução de 9,2% e 13,4%, respectivamente, na TCH quando aplicados aos 30 DAC, porém quando glifosato a 0,45 L ha⁻¹ foi aplicado não houve efeito significativo nas diferentes épocas de aplicação, sendo similar à testemunha.

De maneira geral, à medida que as aplicações foram feitas com maior intervalo antes da colheita houve redução de TCH para alguns tratamentos, principalmente para glifosato em doses iguais ou superiores a 0,45 L ha⁻¹. Quanto aos tratamentos que foram aplicados aos 15 DAC não foi verificada diferença entre os tratamentos, no entanto, aos 60 DAC apresentou maior redução de colmos, independente dos tratamentos, afetando a TCH no ciclo seguinte (cana-soca). Os tratamentos glifosato a 0,35 L ha⁻¹, trinexapaque-etílico a 0,60; 0,80 e 1,00 L ha⁻¹ e sulfometurom-metílico a 0,02 kg ha⁻¹ não apresentaram diferenças entre as épocas avaliadas tanto em cana-planta quanto em cana-soca.

Com relação ao glifosato, diversos autores confirmam os resultados deste estudo na redução de colmos (VIANA et al., 2007; ORGERON, 2012; van HEERDEN et al., 2014; CRUSCIOL et al., 2016), assim como Silva (2012) quando aplicou glifosato como maturador em duas safras sucessivas e verificou redução no número de colmos e, conseqüentemente, na produtividade de colmos. Esses dados também concordam com Millhollon e Legendre (1996), que avaliaram a aplicação de glifosato em três anos consecutivos encontrando redução de 4% da produtividade de colmos. Orgeron et al. (2013), avaliando glifosato (210 g ia ha⁻¹) em duas variedades, encontraram 7,5% de redução da produtividade de colmos, já Karmollachaab et al. (2015) encontraram 5,5% na redução de TCH em relação à testemunha após aplicarem glifosato como maturador.

Neste estudo houve redução da TCH com aplicação de glifosato entre 15 a 21% para cana-planta e entre 5,5 a 26,7% para do efeito residual em cana-soca, principalmente nas épocas de maior intervalo entre a aplicação e a colheita (Tabela 8), no entanto a redução de TCH está relacionada à altura do colmo (Figura 8A e Tabela 13) e número de perfilhos (Tabela 14) obtidos após da colheita de cana-planta e efeito na cana-soca, em que os tratamentos de doses de glifosato reduziram a altura

de planta, assim como o número de perfilhos após a colheita em canaplanta a partir dos 45 DAA nas doses maiores.

Estes resultados podem ser explicados pelo fato de que este herbicida é inibidor da enzima enol-piruvil-chiquimato-fosfato-sintase (EPSPs), que catalisa a condensação de ácido chiquimico fosfato piruvato, bloqueando a síntese dos aminoácidos essenciais: triptofano, fenilalanina e tirosina (ZABLOTOWICZ; REDDY, 2004), em que os órgãos de plantas com altas taxas de metabolismo e crescimento, como nódulos, pontas de raiz e meristema apical, representam importante dreno para glifosato (CAKMAK et al., 2009). Quanto aos fotoassimilados, a translocação de glifosato nestes tecidos muda com o ciclo de vida da planta (MONQUERO et al., 2004). Como maturador o glifosato é muito consistente, efetivo e de rápido efeito na maturação da cana-de-açúcar (DALLEY; RICHARD JUNIOR, 2010), devido à inibição do crescimento por matar a gema apical, levando à paralização do alongamento do colmo, causando estresse na planta pela inibição da síntese de aminoácidos essenciais e proteínas.

O impacto na produtividade pode ser atribuído ao período de maturação (período entre aplicação e colheita em dia), variedade e dose aplicada. Neste estudo nenhuma das doses de glifosato aumentou a TCH.

Para trinexapaque-etílico, os resultados corroboram ao estudo de Silva e Caputo (2012), que indicam que existe efeito negativo no colmo, devido ao encurtamento dos entrenós, no entanto sem efeito na produtividade final de colmos, possivelmente ao incremento do diâmetro dos colmos. Também Siqueira (2014) encontrou aumento de TCH em várias localidades e anos de estudo, do mesmo modo que Galdiano (2013) que indicou que uma aplicação ou duas de trinexapac etil em mistura ao glifosato aumenta a produtividade, confirmando os resultados deste estudo para doses específicas e época de aplicação em ambos anos de estudo.

Também van Heerden et al. (2015) indicam que trinexapaque-etílico tem um modo de ação duplo, como redução da área foliar e redução dos entrenós com efeitos no colmo, e avaliando doses de 0,80; 1,00 e 2,00 L ha⁻¹, não encontraram redução na média de TCH em quatro safras, com exceção da dose 2,00 L ha⁻¹, e com aumento de t de açúcar ha⁻¹, portanto a resposta positiva poderia estar relacionada à variedade, confirmando os resultados deste estudo, em que doses acima de 1,00 L ha⁻¹ reduziram a TCH.

Maia et al. (2013), avaliando trinexapaque-etílico em diferentes variedades, relataram que estas apresentaram diferentes produtividades e os autores indicaram que pode ser devido ao potencial genético, já que a produtividade agrícola é obtida em função de sua expressão fenotípica, composta pelo genótipo somado ao efeito ambiental e a interação desses. No entanto, de maneira mais específica, van Heerden et al. (2015) reportaram que uma hipótese ainda não comprovada sobre a concentração das diferentes giberelinas biologicamente ativas (GA₁, GA₃, GA₄ e GA₇) em cana-de-açúcar, responsáveis pelo alongamento do entrenó, principalmente da GA₁, que é inibida por trinexapac etil, o que poderia explicar as diferenças das variedades à aplicação de trinexapac etil e seu potencial de resposta.

Para o caso de sulfometurom-metílico, diversos autores relatam que a sua aplicação não reduz a produtividade de colmos, obtendo resultados importantes sobre as características tecnológicas das variedades de cana-de-açúcar e redução do chochamento (OLIVEIRA, 1992; PONTIN, 1995; LEITE, 2005; CAPUTO et al., 2008; SIQUEIRA, 2014), confirmando os resultados deste estudo, onde sulfometurom-metílico 0,02 kg ha⁻¹ não causou redução de colmos. Segundo Leite et al. (2009), o sulfometurom-metílico não proporciona redução da TCH aos 40 e 60 DAA quando comparado com outros maturadores como glifosato. No entanto, resultados contrários foram relatados por Siqueira (2009), em que houve redução de 19,6 e 17,6 t ha⁻¹ em duas safras consecutivas em relação à testemunha, assim como 10,2 e 10,4 t ha⁻¹, respectivamente, em relação ao glifosato e glifosato + sulfometurom-metílico.

Galdiano (2013) também encontrou redução de 1,3% em duas aplicações sequenciais. Apesar do mecanismo de ação de sulfometurom-metílico, é possível que as condições climáticas durante o experimento (Figura 1) influíram no rápido crescimento do cultivo, reduzindo seu efeito no colmo.

4.2.2 Produção de Pol (TPH=Toneladas de Pol ha⁻¹)

A aplicação de doses de glifosato influenciou a TPH, em que foi verificado efeito da interação entre T e DAC (p=0,0699) (Tabela 11).

Para os 15 DAC não foram encontradas diferenças entre os tratamentos (p=0,2401), em que os valores oscilaram entre 16,10 a 19,03 t ha⁻¹. Já aos 30 DAC, glifosato 1,00 L reduziu a TPH em 9% em relação à testemunha e esta redução pode estar associada à redução do número de colmos e da altura de plantas nesta época

de aplicação. Aos 45 DAC, o glifosato 0,35 L ha⁻¹ foi o único tratamento que incrementou a TPH, na ordem de 8,5% em relação à testemunha. Para os 60 DAC novamente o glifosato 0,35 L ha⁻¹ aumentou a TPH em 4,6%, mas sem apresentar diferenças estatísticas entre os tratamentos (Tabela 11).

Não houve diferenças na média geral de TPH nas épocas de aplicação, porém houve influência dos tratamentos. Para os tratamentos glifosato 0,35; 0,50 e testemunha não houve alteração em nenhuma época de aplicação, porém o glifosato 0,45 L ha⁻¹ apresentou redução a partir dos 45 DAC e o glifosato 1,00 L ha⁻¹ reduziu a TPH a partir dos 30 DAC. Orgeron (2012), quando aplicou glifosato na dose 350 g ia ha⁻¹ como maturador em cana-de-açúcar, encontrou redução da produção de açúcar em relação às doses de 300 g ia (1,2 L ha⁻¹) e de 210 g ia ha⁻¹.

Tabela 11 - Produtividade de toneladas de pol ha⁻¹ (t. pol ha⁻¹, TPH) sob efeito de maturadores aplicados em diferentes épocas antes da colheita (DAC) em cana-planta. Igarapu do Tietê/SP, 2015.

	DAC			
	60	45	30	15
Tratamento	-----TPH-----			
Testemunha	15,87	16,49B	16,74A	16,58
Glifosato 0,35 L	16,60	17,92A	16,98A	17,54
Glifosato 0,45 L	14,39c	15,15Cbc	17,44Aa	16,05ab
Glifosato 0,50 L	16,02	15,52BC	17,48A	18,13
Glifosato 1,00 L	15,52b	15,16Cb	15,23Bb	19,04a
Tratamento (T), p=0,1715 ^{ns} ; DMS (T) = 1,04; Dias antes da colheita (DAC), p=0,0016*; DMS (DAC) = 0,79; TxDAC=0,0699*; CV%= 9.				
Testemunha	15,87BC	16,49	16,74	16,58
Trinexapaque-etílico 0,60 L	17,62AB	16,67	18,08	15,16
Trinexapaque-etílico 0,80 L	18,57Aa	16,61b	17,04b	17,40b
Trinexapaque-etílico 1,00 L	17,27ABC	17,11	19,10	17,13
Trinexapaque-etílico 1,20 L	17,05BCab	15,93bc	15,51c	17,96a
Tratamento (T), p=0,1960 ^{ns} ; DMS (T) = 0,98; Dias antes da colheita (DAC), p=0,3549 ^{ns} ; DMS (DAC) = 0,79; TxDAC=0,0593*; CV%= 8,7.				
Testemunha	15,87B	16,49	16,74	16,58a
Glifosato 0,45L	14,39Bc	15,15bc	17,44a	16,05ab
Sulfometuron-metílico 0,02kg	18,08A	16,90	17,45a	18,09
Trinexapaque-etílico 0,80L	18,57Aa	16,61b	17,04b	17,40b
Tratamento (T), p=0,0204*; DMS (T) = 0,96; Dias antes da colheita (DAC), p=0,2492 ^{ns} ; DMS (DAC) =0,76; TxDAC=0,0833*; CV%= 7,6.				

OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na horizontal (DAC = dias antes da colheita); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Sob os tratamentos com trinexapaque-etílico foi observada influência na TPH, em que houve efeito da interação entre T e DAC ($p=0,0593$) (Tabela 11). Houve diferença significativa entre os tratamentos sobre a TPH somente aos 60 DAC, quando todos os tratamentos superaram a testemunha, na faixa de 17% (trinexapaque-etílico $0,80 \text{ L ha}^{-1}$) até 7,23% (trinexapaque-etílico $1,20 \text{ L ha}^{-1}$), destacando-se os tratamentos trinexapaque-etílico $0,80$; $0,60$ e $1,00 \text{ L ha}^{-1}$, no entanto, sem significância entre eles.

Com relação aos tratamentos trinexapaque-etílico nas doses $0,60$; $1,00 \text{ L ha}^{-1}$ e testemunha não foram verificadas diferenças na TPH entre as diferentes épocas de aplicação, já para trinexapaque-etílico $0,80$ e $1,20 \text{ L ha}^{-1}$ foram observadas maiores médias aos 60 e 15 DAC (Tabela 11).

No desempenho da TPH com relação à aplicação de doses comerciais de glifosato, trinexapaque-etílico e sulfometurom-metílico foi observado efeito da interação entre T e DAC ($p=0,0833$) (Tabela 11). Somente na época de 60 DAC houve diferenças entre os tratamentos, em que foi verificado maior TPH com trinexapaque-etílico a $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ e sulfometurom-metílico a $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ em relação à testemunha. É importante ressaltar que nas demais épocas de aplicação o sulfometurom-metílico $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ foi superior numericamente aos tratamentos com trinexapaque-etílico e glifosato, mas sem diferenças estatísticas, já o glifosato a $0,45 \text{ L ha}^{-1}$ apresentou desempenho similar à testemunha, no entanto, em valores absolutos, teve menor TPH, possivelmente pela redução de TCH (Tabela 8).

Com relação à aplicação dos tratamentos nas diferentes épocas, o glifosato a $0,45 \text{ L ha}^{-1}$ apresentou redução de TPH a partir dos 45 DAC, no entanto quando aplicado aos 15 ou 30 DAC proporcionou maior acúmulo de TPH. Para o trinexapaque-etílico $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ aos 60 DAC foi a melhor no acúmulo de TPH. No caso de sulfometurom-metílico $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ não houve variação, indicando com isso efeito em todas as épocas avaliadas a partir de 15 DAC, além de não apresentar redução de colmos, da mesma forma a testemunha não apresentou variação, no entanto com valor mais baixo quando comparado aos demais tratamentos.

O cálculo da TPH foi realizado em função da TCH e pol%, portanto reflete o efeito dos produtos maturadores sobre estas duas variáveis. Em geral, os tratamentos com doses de glifosato, apesar de apresentarem alto teor de pol%, não apresentaram alta TPH, devido às reduções promovidas na TCH (Tabela 8). Já em relação às doses de trinexapaque-etílico a $1,20 \text{ L ha}^{-1}$ houve o mesmo desempenho que a testemunha,

com valores baixos de TPH aos 60 DAC, porém para as demais doses os valores obtidos para TPH foram altos (sem diferenças entre eles), indicando que os tratamentos de trinexapaque-etílico etil mantiveram a produção constante de colmos aos 60 DAC (Tabela 9). No caso de glifosato a 0,35 L ha⁻¹, sulfometurom-metílico a 0,02 kg ha⁻¹ e trinexapaque-etílico a 0,60 L ha⁻¹, não houve diferença entre as épocas de aplicação, indicando que a TPH não foi influenciada por esses produtos nessas doses.

4.2.3 Produção de açúcar (TAH=Toneladas de açúcar ha⁻¹)

Houve efeito significativo da interação entre os tratamentos de doses de glifosato e as épocas de aplicação (DAC) para a TAH, no decorrer do tempo ($p=0,0621$). Os valores oscilaram entre 14,2 até 18,9 t ha⁻¹ (Tabela 12).

Aos 15 DAC não foram observadas diferenças entre os tratamentos, no entanto de forma numérica glifosato a 1,00 L ha⁻¹ apresentou a maior produtividade de açúcar (18,9 t ha⁻¹) devido à alta TCH (Tabela 8) e pelo maior acúmulo de sacarose (ATR) (Figura 3), seguido pelo tratamento de glifosato a 0,50 L ha⁻¹, que apresentou 18,0 t ha⁻¹, os quais foram equivalentes a 14,5% e 9,0% de aumento, respectivamente, em relação à testemunha. Já para os 30 DAC o tratamento glifosato a 1,00 L ha⁻¹ reduziu a TAH em 9,5%, devido à redução de TCH (Tabela 8), mas as demais doses foram estatisticamente similares à testemunha.

Para os 45 DAC, o tratamento glifosato a 0,35 L ha⁻¹ foi o que proporcionou maior TAH, superando a testemunha em 7,5%, explicado pela preservação da produtividade de colmos e a maior produção de sacarose (ATR). Já as doses acima de 0,45 L ha⁻¹ proporcionaram TAH inferiores à testemunha, devido à redução de TCH. Viana (2011a), avaliando maturadores e variedades, encontrou que a 45 DAA o tratamento glifosato a 0,35 L ha⁻¹ foi o que proporcionou maior ganho de TAH na variedade RB855453. Para os 60 DAC não houve diferenças entre os tratamentos na TAH, o que pode ser explicado pelo fato de que doses baixas e intervalo longo de maturação prejudicou a TAH. Para a testemunha, apesar de baixo ATR e alto TCH, foi similar aos tratamentos aplicados.

Tabela 12 - Produtividade de açúcar ($t\ ha^{-1}$, TAH) sob efeito de maturadores aplicados em diferentes épocas antes da colheita (DAC) em cana-planta. Igarauçu do Tietê/SP, 2015.

	DAC			
	60	45	30	15
Tratamento	-----TAH-----			
Testemunha	15,8	16,4B	16,6A	16,5
Glifosato 0,35 L	16,3	17,6A	16,7A	17,4
Glifosato 0,45 L	14,2c	14,9Cbc	17,3Aa	16,0ab
Glifosato 0,50 L	15,7	15,3BC	17,3A	18,0
Glifosato 1,00 L	15,2b	14,9Cb	15,1Bb	18,9a
Tratamento (T), $p=0,2179^{ns}$; DMS (T) =1,04; Dias antes da colheita (DAC), $p=0,0008^*$; DMS (DAC) = 0,77; TxDAC=0,0621*; CV%= 8,9				
Testemunha	15,8	16,4a	16,6	16,5
Trinexapaque-etílico 0,60 L	17,4	16,5	17,9	15,0
Trinexapaque-etílico 0,80 L	18,2a	16,4b	16,9b	17,3ab
Trinexapaque-etílico 1,00 L	16,9	16,9	18,9	17,0
Trinexapaque-etílico 1,20 L	16,9ab	15,7bc	15,4c	17,8a
Tratamento (T), $p=0,2519^*$; DMS (T) =0,79; Dias antes da colheita (DAC), $p=0,3926^{ns}$; DMS (DAC) =0,98; TxDAC=0,083*; CV%= 8,9				
Testemunha	15,8B	16,4	16,6	16,5
Glifosato 0,45 L	14,2Bc	14,9bc	17,3a	16,0ab
Sulfometuron metílico 0,02 kg	17,7A	16,7	17,3	17,9
Trinexapaque-etílico 0,80 L	18,2Aa	16,4b	16,9b	17,3ab
Tratamento (T), $p=0,0231^*$; DMS (T) = 0,96; Dias antes da colheita (DAC), $p=0,1993^{ns}$; DMS (DAC) = 0,76; TxDAC=0,103*; CV%= 7,7				

OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na horizontal (DAC= Dias antes da colheita; ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade; Tratamentos 10% DMS, épocas de aplicação 10% DMS.

No geral, os tratamentos glifosato a $0,35$; $0,50\ L\ ha^{-1}$ e testemunha não apresentaram diferenças entre as épocas de aplicação, já o glifosato $0,45\ L\ ha^{-1}$ apresentou maior TAH quando aplicado aos 15 e 30 DAC e o glifosato $1,00\ L\ ha^{-1}$ aos 15 DAC (Tabela 12). De acordo com os resultados, pode-se observar que glifosato $0,35\ L\ ha^{-1}$ foi o tratamento que proporcionou maior produtividade de açúcar (TAH) aos 45 DAC, pela rápida acumulação de sacarose (ATR).

Sob os tratamentos de doses de trinexapaque-etílico houve efeito significativo da interação entre T e DAC ($p=0,0827$), no entanto não houve diferença entre os tratamentos em cada época de aplicação (DAC) (Tabela 12). Com relação às diferentes épocas de aplicação, o tratamento trinexapaque-etílico $0,80\ L$ promoveu maior TAH aos 60 e 15 DAC, já para trinexapaque-etílico $1,20\ L\ ha^{-1}$ a maior TAH foi aos 15 e 60 DAC. Os tratamentos trinexapaque-etílico $0,60$ e $1,00\ L\ ha^{-1}$ não alteraram

a TAH ao longo das épocas de aplicação. Os resultados demonstram o pouco efeito de trinexapaque-etílico na variedade RB966928, independente da época aplicada.

De acordo com Maia et al. (2013), as variedades expressam diferentes potenciais de produção de açúcar, e avaliando trinexapaque-etílico encontraram na variedade RB835486 alta produtividade de açúcar aos 30 DAA. Efeito similar foi reportado por Orgeron (2012), ao avaliar trinexapaque-etílico e glifosato, determinou o efeito específico dos produtos em duas de cinco variedades, em que reportou 16% de incremento com glifosato (0,210 kg ae) na variedade HoCP 96-540, já para a L 01-283 houve 13% de aumento com trinexapaque-etílico (300 g ia).

Estes resultados foram diferentes aos reportados por Orgeron (2014), em que oito semanas após aplicação de glifosato houve incremento de 7% e 8% da produtividade de açúcar quando comparado à testemunha e ao trinexapaque-etílico a 300 g ia ha⁻¹, respectivamente, e essa dose foi equivalente ao trinexapaque-etílico a 350 g ia ha⁻¹, demonstrando que não houve diferença entre as doses aplicadas de trinexapaque-etílico.

Sob os tratamentos com maturadores nas doses recomendadas (comerciais) houve efeito significativo da interação entre T e DAC (p=0,1) (Tabela 12). Houve diferença entre os tratamentos somente quando aplicados aos 60 DAC, em que trinexapaque-etílico e sulfometurom metílico foram estatisticamente similares, mas superiores em 15,3% e 12,5%, respectivamente, em relação à testemunha. É importante ressaltar que, numericamente, o sulfometurom-metílico 0,02 kg ha⁻¹ foi superior de 15 aos 45 DAC em relação à testemunha. Para o glifosato 0,45 L ha⁻¹ foi observada redução da TAH em 10,5% em relação à testemunha (Tabela 12).

No tratamento glifosato 0,45 L ha⁻¹ foi observada maior TAH quando aplicado aos 30 e 15 DAC, no trinexapaque-etílico 0,3 L ha⁻¹ aos 60 e 15 DAC, entretanto, o sulfometurom-metílico 0,02 kg ha⁻¹ e a testemunha não proporcionaram mudanças na TAH com o decorrer das épocas de aplicações, ou seja, proporcionaram similar TAH independente da época de aplicação.

Os resultados obtidos neste estudo indicam que quando foram utilizadas doses baixas de maturadores, especialmente de trinexapaque-etílico, e sulfometurom-metílico 0,02 kg ha⁻¹, o ganho de TAH foi devido à produtividade de colmos e não ter sido afetada, bem como pelo maior acúmulo de sacarose (ATR) em relação à testemunha. Além disso, as doses de trinexapaque-etílico, não apresentaram redução em relação à testemunha. Estes resultados podem ser explicados por van Heerden et

al. (2015) que indicam que, para o caso de trinexapaque-etílico, há degradação do ingrediente ativo dentro da planta, o que confere novamente o crescimento dos entrenós da planta (Figura 8).

No entanto, Groff e Magnanini (2006), aplicando trinexapaque-etílico para redução de entrenó para produção de mudas, indicam que trinexapaque-etílico pode permanecer dentro da planta até 16 semanas, dependendo da dose utilizada (25-800 g ha⁻¹) e momento de aplicação, e que pode ocorrer diminuição de até 70% na taxa de crescimento da próxima soqueira de cana-de-açúcar, na dose acima de 0,80 L ha⁻¹ de trinexapaque-etílico, em pelo menos 4 a 6 semanas após do corte.

Também Galdiano (2013), avaliando o número de aplicações de diferentes maturadores, não encontrou diferenças nos tratamentos, mas numericamente os tratamentos trinexapaque-etílico e sulfometurom-metílico foram superiores à testemunha. Por tanto, o efeito das épocas de aplicação foram chaves para cada tratamento o qual tiveram influência sobre a TAH, onde glifosato somente houve diferença até os 45 DAC, já para trinexapaque-etílico não houve diferenças entre as épocas de aplicação.

4.3 Análises pós-colheita

4.3.1 Análises biométricas

4.3.1.1 Comprimento de colmo (cm)

Para a variável altura de planta, medida aos 180 dias depois da colheita (DDC), a aplicação de doses de glifosato não proporcionou efeito significativo na interação entre T e DAC ($p=0,1324$), no entanto houve diferença entre os tratamentos ($p<0,0321$), em que somente no tratamento glifosato 1,00 L ha⁻¹ foi observada 10,6% de redução em relação à testemunha, contudo para as épocas de aplicação não houve significância (Tabela 13).

No caso de trinexapaque-etílico não houve interação significativa entre T e DAC ($p<0,0717$) (Tabela 13), bem como nos tratamentos não houve diferenças em nenhuma das épocas de aplicação, o que indicou que as doses de trinexapaque-etílico não influenciaram a altura de planta na rebrota.

Com relação às épocas de aplicação, os tratamentos, em média, apresentaram maiores valores de altura de plantas com aplicações aos 60 e 45 DAC, em relação aos valores apresentados aos 15 DAC. A ativação do crescimento da planta nas épocas de 60 e 45 DAC se deve ao processo de degradação do produto na planta, onde as concentrações de formação de giberelina (GA_1) incrementam, e a planta retoma o crescimento, fato que não acontece na aplicação tardia (15 DAC), o qual se pode confirmar com os resíduos de trinexapaque (ácido livre) quantificados na rebrota (Tabela 26). Além disso, de modo geral, em números absolutos, os valores de altura de planta com trinexapaque-etílico foram maiores quando comparadas com as médias de glifosato (Tabela 13).

Já sob as doses comerciais dos maturadores não houve interação significativa entre T e DAC ($p=0,0741$), as médias dos tratamentos não apresentaram diferenças ($p=0,5838$) e, da mesma forma, as épocas de aplicação não tiveram nenhuma influência sobre a altura da planta na rebrota ($p=0,5949$) (Tabela 13). De fato, Silva et al. (2007) indicaram que o sulfometuron-metílico não tem efeito na altura da planta na soqueira seguinte após 180 dias.

Tabela 13 - Altura da planta de cana-de-açúcar aos 180 dias depois da colheita (DDC) sob efeito de maturadores aplicados em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarapu do Tietê/SP, 2015.

Tratamento (T)	Altura de planta (cm)	Tratamento	Altura de Planta (cm)	Tratamento	Altura de planta (cm)
Testemunha	127,2A	Testemunha	127,2	Testemunha	127,3
Glifosato 0,35 ¹	119,9AB	TE 0,60 ²	130,9	Glifosato 0,45 ³	124,8
Glifosato 0,45	124,8A	TE 0,80	127,4	SM 0,02	129,6
Glifosato 0,50	121,0AB	TE 1,00	129,6	TE 0,80	127,4
Glifosato 1,00	113,8B	TE 1,20	123,5		
DAC					
60	119,8		130,2a		128,4
45	122,1		128,4ab		127,6
30	122,9		125,7b		127,0
15	120,6		126,5b		126,0

¹Tratamento (T), $p=0,0321^*$; DMS (T) =8,13; Dias antes da colheita (DAC), $p=0,3729^{ns}$; DMS (DAC) =3,83; TxDAC=0,1324^{ns}; CV% = 5,0

²Tratamento (T), $p=0,3791^{ns}$; DMS (T) =8,01; Dias antes da colheita (DAC), $p=0,0381^*$; DMS (DAC) =3,29; TxDAC=0,717^{ns}; CV% = 4,0

³Tratamento (T), $p=0,5838^{ns}$; DMS (T) =7,5; Dias antes da colheita (DAC), $p=0,5949^{ns}$; DMS (DAC) = 3,73; TxDAC=0,0741^{ns}; CV% = 4,1

OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na vertical (DAC=Dias antes da colheita); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade; Tratamentos 5% DMS, Dias após da colheita -DAC- 5% DMS. TE=Trinexapaque-etílico, SM=Sulfometuron-metílico.

Os resultados deste estudo indicaram que a aplicação de glifosato, dependendo da dose, proporcionou paralisação do crescimento das plantas. O glifosato tem uma rápida absorção e translocação do produto aos órgãos de reservas da planta, e seu efeito pode se expressar no ciclo após a colheita. Segundo Carbonari et al. (2014) de 720 g ia de glifosato em folhas podem ser translocadas em maior quantidade, com consequente redução da concentração aos 21 DAA, já Gomes et al. (2014) indicaram que após a aplicação de glifosato aumentam os níveis do principal metabolito, AMPA, sendo este responsável por diversos efeitos nos processos fisiológicos da planta, principalmente na altura da planta. Além Velini (2010) relatou que a falta de crescimento no colmo é devido ao fato de que o glifosato tem efeito indireto sobre o hormônio ácido indolacético, responsável pelo alongamento celular, dominância apical do caule e crescimento das raízes, o qual é dependente da rota do chiquimato, iniciando a inibição quando existe interrupção da enzima EPSPs.

4.3.1.2 Número de perfilhos

Para o número de perfilhos m^{-1} aos 45 DDC (Tabela 14) foi não houve interação entre T e DAC ($p=0,2012$) sob a aplicação de diferentes doses de glifosato, porém foram observadas diferenças entre os tratamentos, em que as doses de glifosato a 0,50 e 1,00 $L ha^{-1}$ reduziram o número de perfilhos em 41,2% e 63%, respectivamente, em relação à testemunha. Com relação às épocas de aplicação, foi observado maior número de perfilhos na época de aplicação de 30 DAC (8,0 perfilhos m^{-1}) comparada aos 15, 45 e 60 DAC (6,6; 5,6 e 6,6 perfilhos m^{-1} , respectivamente).

Aos 90 DDC não houve interação entre T e DAC ($p=0,6800$) para os tratamentos com glifosato e não foram observadas diferenças entre as épocas de aplicação, contudo os tratamentos apresentaram diferenças ($p=0,0267$), em que o glifosato a 1,00 $L ha^{-1}$ reduziu o número de perfilhos em 31,3% em relação à testemunha, assim como comparado às doses de glifosato a 0,35 e 0,45 $L ha^{-1}$ (Tabela 14). Em valor absoluto, quando glifosato foi aplicado aos 30 DAC foi verificado o maior número de perfilhos por metro (12,7). Houve incremento de todos os tratamentos de 45 para 90 DDC, na ordem de 44 até 164% na população de perfilhos (Tabela 14).

Para a avaliação do número de perfilhos aos 180 DDC sob aplicação de glifosato, houve interação significativa entre tratamento e DAC ($p=0,0047$) (Tabela 15), aos 15 DAC os tratamentos glifosato 0,45 e 1,00 $L ha^{-1}$ reduziram o número de

perfilhos em 16% e 18,8%, respectivamente. Na época de aplicação de 30 DAC os tratamentos glifosato 0,35 e 0,50 L ha⁻¹ proporcionaram maior número de perfilhos em relação à testemunha. Já aos 45 DAC não houve diferenças entre os tratamentos, no entanto, em números absolutos, o glifosato 1,00 L ha⁻¹ reduziu o número de perfilhos. Aos 60 DAC também o tratamento de glifosato 1,00 L ha⁻¹ causou redução no número de perfilhos, na ordem de 16,7% comparado à testemunha. Por outro lado, as doses de 0,35 e 0,45 L ha⁻¹ proporcionaram valores superiores aos da testemunha, o que provavelmente foi uma resposta da planta à fitotoxicidade, ao estimular maior número de perfilhos como mecanismo de defesa, assim como a redução de altura de planta (MILLHOLLON; LEGENDRE, 1996).

Tabela 14 - Número de perfilhos em cana-soca aos 45 e 90 dias depois da colheita (DDC) sob efeito de maturadores aplicados em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarapé do Tietê/SP, 2015.

Tratamento	DDC			DDC			DDC		
	45	90	Test.	45	90	Test.	45	90	
Testemunha	9,10A ¹	13,10A ²	Test.	9,10AB ³	13,10C ⁴	Test.	9,10BC ⁵	13,10B ⁶	
Glifosato 0,35	7,90A	12,70A	TE 0,60	11,10AB	16,40B	Gli 0,45	7,60C	13,00B	
Glifosato 0,45	7,60AB	13,00A	TE 0,80	11,70A	18,20A	SM 0,02	10,70AB	15,20B	
Glifosato 0,50	5,40BC	11,30AB	TE 1,00	9,00B	15,90B	TE 0,80	11,70A	18,20A	
Glifosato 1,00	3,40C	9,00B	TE 1,20	10,20AB	16,40B				
DAC									
60	6,6b	11,5a		10,6a	15,8		10,1	14,7	
45	5,6b	11,1a		10,6a	16,2		09,3	15,2	
30	8,0a	12,7		10,4a	16,2		10,3	14,9	
15	6,6b	11,9a		09,3b	15,9		09,4	14,7	

¹Tratamento (T), p=0,0011*; Dias depois da colheita (DDC), p=0,0009*; TxDDC=0,2012^{ns}; CV%= 26,6

²Tratamento (T), p=0,0267*; Dias depois da colheita (DDC), p=0,0678*; TxDDC=0,6800^{ns}; CV%= 16,5

³Tratamento (T), p=0,1793^{ns}; Dias depois da colheita (DDC), p=0,0417*; TxDDC=0,1674^{ns}; CV%= 15,5

⁴Tratamento (T), p=0,0008*; Dias depois da colheita (DDC), p=0,8224^{ns}; TxDDC=0,7058^{ns}; CV%= 11,0

⁵Tratamento (T), p=0,0250*; Dias depois da colheita (DDC), p=0,1612^{ns}; TxDDC=0,0325*; CV%= 15,8

⁶Tratamento (T), p=0,0051*; Dias depois da colheita (DDC), p=0,7967^{ns}; TxDDC=0,2520^{ns}; CV%= 11,9

OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na vertical (DAC=Dias antes da colheita); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade; CV= coeficiente de variação; Gli=Glifosato; TE=Trinexapaque-etílico, SM=Sulfometurom-metílico, Test.=Testemunha

De modo geral, houve incremento do número de perfilhos de 90 DDC para 180 DDC, na ordem de 25% (Testemunha) a 63% (glifosato 1,00L), nos diferentes tratamentos (Tabela 14).

Para os tratamentos com doses de trinexapaque-etílico não houve interação significativa entre T e DAC (p=0,1174) aos 45 DDC (Tabela 14). Houve diferença entre os tratamentos, em que a dose de trinexapaque-etílico a 0,80 L proporcionou número

de perfilhos significativamente superior ao trinexapaque-etílico 1,00 L ha⁻¹. Trinexapaque-etílico 0,8 e 0,6 L ha⁻¹ incrementaram o número de perfilhos em relação à testemunha, em 28,7% e 21,9%, respectivamente, mas sem diferença significativa. Quanto às épocas de aplicação dos tratamentos, quando foram aplicados aos 30, 45 e 60 DAC foram obtidos os maiores números de perfilhos, na ordem de 10,6; 10,6 e 10,4 perfilhos m⁻¹, respectivamente, valores estes significativamente superior aos obtidos na época de 15 DAC, quando havia somente 9 perfilhos.

Aos 90 DDC não foi encontrada interação significativa entre T e DAC ($p=0,7058$), bem como não houve diferença entre as épocas de aplicação, sob aplicações de doses de trinexapaque-etílico, porém foram observadas diferenças entre os tratamentos ($p=0,0008$), em que a aplicação de trinexapaque-etílico em todas as doses superou a testemunha. Com aplicação de trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹ houve o maior número de perfilhos representando incremento de 38,8% em relação à testemunha e para os demais tratamentos o incremento foi na faixa de 24,8% a 21,4% (Tabela 14).

Aos 180 DDC houve interação significativa entre T e DAC ($p=0,0039$), (Tabela 15), já aos 15 DAC não houve diferenças entre os tratamentos, e aos 30 DAC os tratamentos trinexapaque-etílico a 0,80 e 1,20 L ha⁻¹ superaram a testemunha em 21% e 19,9%, respectivamente. Aos 45 DAC não houve diferença entre os tratamentos, contudo aos 60 DAC a aplicação de trinexapaque-etílico a 0,60 L ha⁻¹ proporcionou maior número de perfilhos em relação à testemunha, não entanto todos os tratamentos de trinexapaque-etílico superaram à testemunha e entre eles foram estatisticamente similares. De modo geral, o maior número de perfilhos para trinexapaque-etílico 0,60 L ha⁻¹ foi obtido quando aplicado na época de 60 DAC (19,8 perfilhos m⁻¹), já para trinexapaque-etílico a 1,20 L ha⁻¹ foi aos 30 e 45 DAC (19,8 e 19,3 perfilhos m⁻¹) e para os demais tratamentos não houve diferenças.

Tabela 15 - Desdobramento de número de perfilhos m^{-1} em cana-soca aos 180 dias depois da colheita (DDC) sob efeito de maturadores aplicados em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarauçu do Tietê/SP, 2015.

	DAC				Média
	60	45	30	15	
Tratamento	-----No. Perfilhos m^{-1} -----				
Testemunha	14,80B	17,00	16,10BC	17,80A	16,4
Glifosato 0,35 L	17,60A	16,10	19,00A	18,10A	17,7
Glifosato 0,45 L	18,50Aa	17,60a	15,60BCb	15,00Bb	16,7
Glifosato 0,50 L	16,90AB	17,80	16,63A	18,00A	17,3
Glifosato 1,00 L	14,70C	15,60	13,90C	14,50B	14,7
Tratamento (T), $p=0,0097^*$; Dias antes da colheita (DAC), $p=0,3960^{ns}$; TxDAC= $0,0047^*$; CV%= 9,8					
Tratamento					
Testemunha	14,80Bb	17,00ab	16,10Bab	17,80a	16,4
Trinexapaque-etílico 0,60 L	19,80Aa	17,50b	15,80Bc	16,70bc	17,5
Trinexapaque-etílico 0,80 L	16,30AB	18,30	19,50A	20,80	18,7
Trinexapaque-etílico 1,00 L	18,60AB	17,20	15,80B	17,50	17,3
Trinexapaque-etílico 1,20 L	17,20ABb	19,80a	19,30Aa	17,00b	18,3
Tratamento (T), $p=0,3564^{ns}$; Dias antes da colheita (DAC), $p=0,5314^{ns}$; TxDAC= $0,0039^*$; CV%= 10,9					
Tratamento					
Testemunha	14,8	17,0	16,1B	17,8B	16,4
Glifosato 0,45 L	18,5a	17,6a	15,6Bb	15,0Cb	16,7
Sulfometuron-metílico 0,02 kg	15,1	16,8	16,7AB	15,5BC	16,0
Trinexapaque-etílico 0,80 L	16,3	18,3	19,5A	20,8A	18,7

Tratamento (T), $p=0,1217^{ns}$; Dias antes da colheita (DAC), $p=0,3045^{ns}$; TxDAC= $0,0196^*$; CV%= 11,6
 OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na horizontal (DAC=Dias antes da colheita); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade, CV%= coeficiente de variação.

Houve incremento do número de perfilhos de 45 DDC para os 90 DDC, na ordem de 44% (testemunha) a 86% (trinexapaque-etílico 1,20 L ha^{-1}) (Tabela 14). Já dos 90 DDC para os 180 DDC (Tabelas 14 e 15, respectivamente) houve incremento de 2,7% (trinexapaque-etílico 0,80 L ha^{-1}) a 11,6% (trinexapaque-etílico 1,20 L ha^{-1}), indicando estabilização da população com estes tratamentos a partir de 90 DDC.

Sob os tratamentos de doses comerciais dos maturadores, incluindo sulfometurom metílico, houve interação significativa entre T e DAC ($p=0,0325$) na avaliação do número de perfilhos aos 45 DDC (Tabela 16). Houve diferença entre os tratamentos, em que o trinexapaque-etílico 0,80 L ha^{-1} foi superior à testemunha e ao glifosato a 0,45 L ha^{-1} , porém não foi observada diferença entre as épocas de aplicação.

Tabela 16 - Desdobramento de número de perfilhos m^{-1} em cana-soca aos 180 dias depois da colheita (DDC) sob efeito de maturadores aplicados em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarapu do Tietê/SP, 2015.

Tratamento	DAC				Média
	60	45	30	15	
	-----No. perfilhos m^{-1} -----				
Testemunha	8,1C	9,6A	10,1	8,8	9,1
Glifosato 0,45	8,0C	5,41B	09,4	7,6	7,6
Sulfometurom-metílico 0,02	10,8B	11,2A	10,4	10,2	10,7
Trinexapaque-etílico 0,80	13,6Aa	11,0Ab	11,3b	11,0b	11,7
Média	10,1	9,3	10,3	9,4	

Tratamento (T), $p=0,0250^*$; Dias antes da colheita (DAC), $p=0,1612^{ns}$; TxDAC= $0,0325^*$; CV%= 15,8
 OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na vertical (épocas de aplicação –DAC-); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV%= coeficiente de variação.

No desdobramento entre T e DAC (Tabela 16) foi observada diferença entre os tratamentos na época de aplicação de 45 DAC, em que os os números de perfilhos m^{-1} sob sulfometurom-metílico a $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$, trinexapaque-etílico a $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ e testemunha foram estatisticamente similares e superaram o do tratamento com glifosato a $0,45 \text{ L ha}^{-1}$ em 76% (testemunha) e 107% (sulfometurom-metílico e trinexapaque-etílico). Aos 60 DAC os tratamentos trinexapaque-etílico a $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ e sulfometurom-metílico a $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ incrementaram o número de perfilhos em 80% a 33%, respectivamente, enquanto sob glifosato a $0,45 \text{ L ha}^{-1}$ foi similar em relação à testemunha.

Com relação às épocas de aplicação, somente sob trinexapaque-etílico $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ foi observado incremento do número de perfilhos m^{-1} aos 60 DAC com 13,6 perfilhos, em relação aos 45, 30 e 15 DAC, que tiveram, em média, 11 perfilhos m^{-1} . Nos tratamentos glifosato e sulfometurom-metílico, assim como na testemunha, não houve variação nas diferentes épocas de aplicação (Tabela 16).

Para a época de avaliação de 90 DDC não houve interação entre T e DAC ($p=0,2520$) (Tabela 14), porém foi observado maior número de perfilhos m^{-1} no tratamento trinexapaque-etílico a $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ do que em glifosato, sulfometurom-metílico e testemunha, entre 19,9% a 38,8%. Não houve diferenças no número de perfilhos entre as épocas de aplicação, em que os valores oscilaram de 15,9 a 16,2 perfilhos.

Na avaliação aos 180 DDC houve interação significativa entre T e DAC ($p=0,0196$) (Tabela 15), em que na época de 15 DAC o trinexapaque-etílico a $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ proporcionou maior número de perfilhos em relação à testemunha e ao tratamento glifosato a $0,45 \text{ L ha}^{-1}$, na ordem de 16,7% e 38,9%, respectivamente. Aos 30 DAC novamente o número de perfilhos m^{-1} sob trinexapaque-etílico a $0,8 \text{ L ha}^{-1}$ e sulfometurom metílico a $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ superaram à testemunha em 21% e 3,6%, respectivamente, já sob glifosato a $0,45 \text{ L ha}^{-1}$ foi estatisticamente similar à testemunha. Aos 45 e 60 DAC não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 15).

Houve incremento de perfilhos mediante aplicação dos produtos nas doses recomendadas, nas diferentes datas de avaliação (DDC), onde de 45 para 90 DDC houve variação na ordem de 42% (sulfometurom-metílico $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$) a 71% (glifosato $0,45 \text{ L ha}^{-1}$) (Tabela 14) e de 90 para 180 DDC houve aumento de 2,7% (trinexapaque-etílico $0,80 \text{ L ha}^{-1}$) a 28% (glifosato $0,45 \text{ L ha}^{-1}$) (Tabela 14 e 15, respectivamente).

Para a variável número de perfilhos m^{-1} nas diferentes épocas de aplicação dos maturadores e datas de avaliação (45, 90 e 180 DDC), de maneira geral, foi observado que independente da época de aplicação de glifosato houve redução na população de perfilhos, e o período com maior redução do número de perfilhos m^{-1} e do desenvolvimento e crescimento das plantas foi aos 45 DDC, em que as doses de glifosato a $0,45$; $0,50$ e $1,00 \text{ L ha}^{-1}$ causaram os maiores efeitos fitotóxicos residuais, mas com redução da severidade aos 180 DDC. Por outro lado, o tratamento com sulfometurom-metílico não influenciou essa variável, diferente do trinexapaque-etílico que estimulou o aumento do número de perfilhos m^{-1} até a dose de $1,00 \text{ L ha}^{-1}$, com decréscimo para algumas épocas de aplicação na dose de $1,20 \text{ L ha}^{-1}$.

Segundo van Heerden et al. (2014), o uso de glifosato pode reduzir o número de perfilhos na brotação da soqueira seguinte, o que pode levar a redução de produtividade na próxima colheita, fato este que também foi observado por Leite e Crusiol (2008) e Siqueira (2009). Este fato foi confirmado por Silva (2012) que, aplicando sucessivamente glifosato, encontrou efeito na população da soqueira seguinte, reduzindo a produtividade, confirmando os resultados deste estudo, em que houve redução de TCH no ciclo seguinte (cana-soca) (Tabela 8).

Os efeitos do maturador glifosato são contraditórios. Alguns autores relatam que não existe efeito sobre a cultura e a rebrota do ciclo seguinte, mas outros relatam efeitos negativos na altura da planta e número de perfilhos que após de certo tempo

desaparecem, exceto quando são aplicadas altas doses e com intervalo maior entre a aplicação e a colheita, no entanto com influência da variedade (VENKATARAMANA et al., 2013). Segundo Crusciol et al. (2016), quando glifosato é utilizado nas doses corretas, os efeitos são transitórios e não afetam a produção, mas com estresse hídrico e/ou nutrição deficiente os prejuízos podem ser maiores na rebrota, já que doses elevadas podem causar branqueamento e nanismo. Assim, em alguns países com na Guatemala, onde a aplicação de glifosato é em altas doses (0,9 L ha⁻¹ até 1,8 L ha⁻¹ de produto comercial), devido às condições climáticas de alta precipitação e temperatura, as quais não permitem que as plantas entrem na fase de maturação (SILVA; CAPUTO, 2012) o manejo nutricional e doses baixas poderiam reduzir o efeito na rebrota e incrementar a concentração de açúcar.

O glifosato tem diversas características que fazem ser um herbicida efetivo, por exemplo no floema o glifosato apresenta alta mobilidade seguindo a rota dos produtos da fotossíntese (açúcares), isto é, para os tecidos de demanda energética metabolicamente ativos. Portanto, o glifosato é o mais importante herbicida para afetar a síntese de metabolitos secundários devido ao bloqueio desta rota metabólica (RODRIGUES, 1995). Após a penetração nas folhas, o glifosato pode alcançar os sítios metabólicos, como raiz e meristema apical, após ser translocado nos tecidos vasculares (SATCHIVI et al., 2000) ou folhas jovens (MONQUERO et al., 2004). Em experimentos com herbicidas radioativos foram encontradas altas concentrações de glifosato em raízes e em áreas de alta atividade metabólica, como gemas basais na soqueira onde originam-se os perfilhos (HILTON et al., 1976; NOMURA et al., 1986), resultados similares foram encontrados por Hayamichi (1991), quando utilizou C¹⁴ glifosato em cana-de-açúcar, e observou que o glifosato é a principal causa de inibição de crescimento de perfilhos após a colheita.

De acordo com Silva e Caputo (2012), a aplicação de trinexapaque-etílico causa encurtamento dos entrenós, mas que não existe prejuízo nos perfilhos. Também Siqueira (2009) encontrou, com aplicação de trinexapaque-etílico, melhor rebrota em relação à testemunha e muito superior ao glifosato. Este efeito deve-se, possivelmente, ao desbalanceamento hormonal, pois segundo March et al. (2013), quando trinexapaque-etílico é aplicado em gramado, existe aumento das citocininas, fornecendo um sistema radicular mais desenvolvido e com mais tolerância ao estresse. Resende et al. (2000) encontraram maior desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar com a aplicação de trinexapaque-etílico, assim como Di

Bella et al. (2007) na soqueira, além da alta produção de clorofilas, tanto em pré-colheita quanto em pós-colheita, o que leva a maiores taxas fotossintéticas.

Sobre o sulfometurom-metílico, segundo Silva et al. (2007), não há efeito de detrimento sobre a rebrota da soqueira até 180 dias, e o mesmo foi confirmado por Siqueira (2009; 2014) e Crusciol et al. (2016), em que os autores, de maneira geral, encontraram em vários experimentos realizados de início e final da safra, que sulfometurom-metílico não provocou efeitos na rebrota. De acordo com Meschede et al. (2012), existe aumento do teor da lignina na rebrota após o corte da cana em que foi aplicado sulfometurom-metílico, o que indica que o produto não altera a rota metabólica do ácido chiquímico, importante para a produção de aminoácidos aromáticos e de compostos fenólicos, no entanto, essa rota é alterada por outros produtos maturadores.

4.3.2 Pigmentos fotossintéticos

4.3.2.1 Conteúdo de clorofila total $a+b$

Sob diferentes doses de glifosato não houve efeito da interação entre T e DAC sobre o conteúdo de clorofila total ($a+b$) aos 45 DDC ($p=0,9824$), assim como não houve diferença entre as épocas de aplicação, em que os valores variaram de 8,3 a 7,7 $\mu\text{g cm}^{-2}$ (Tabela 17). Houve diferença entre os tratamentos, em que todas as doses de glifosato reduziram a concentração total de clorofila $a+b$ comparada à testemunha, com variação de 35,5% a 42,5%. Possivelmente, a alocação de glifosato na soqueira inibiu a produção de clorofilas para os processos fotossintéticos, evitando, assim, o desenvolvimento foliar, ocasionando o retardamento do crescimento verificado nas Tabelas 13 e 14.

Aos 90 DDC foi verificada interação significativa entre T e DAC ($p=0,0472$) para o conteúdo de clorofila total $a+b$ sob aplicação dos tratamentos de doses de glifosato, bem como houve diferença entre os tratamentos, em que todas as doses proporcionaram redução em relação à testemunha, porém sem diferença entre as épocas de aplicação (Tabela 17).

Com relação ao desdobramento de T x DAC aos 90 DDC (Tabela 18), para os 15 DAC não houve diferenças entre os tratamentos, no entanto houve tendência de redução de clorofila total à medida que houve aumento de doses. Já aos 30 DAC, os

tratamentos glifosato 1,00 e 0,35 L ha⁻¹ reduziram em 19,8% e 22,7%, respectivamente, em relação à testemunha. Para as épocas de aplicação de 45 e 60 DAC não foram encontradas diferenças entre os tratamentos. Somente no tratamento glifosato 0,50 L ha⁻¹ foi constatado maior conteúdo de clorofila *a+b* (19,3 e 20,5 µg cm⁻², respectivamente) aos 30 e 45 DAC, quando comparado aos 60 DAC (14,3 µg cm⁻²).

De modo geral houve incremento no conteúdo de clorofila total *a+b* da avaliação de 45 para 90 DDC, na ordem de 65% (testemunha) a 142% (glifosato 0,50 L ha⁻¹). Já entre as épocas houve incremento na faixa de 92% (testemunha) a 126% (glifosato 1,00 L ha⁻¹) (Tabela 17).

Quanto aos tratamentos com doses de trinexapaque-etílico, para a avaliação do conteúdo total de clorofila *a + b* aos 45 DDC, não houve influência dos tratamentos ou das épocas de aplicação, bem como não houve interação para tratamentos x DAC ($p=0,5753$) (Tabela 17).

Aos 90 DDC houve influência dos tratamentos e épocas de aplicação, assim como interação entre T e DAC ($p<0,0001$), em que os tratamentos trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹ e 1,00 L ha⁻¹ proporcionaram aumento no conteúdo de clorofila *a + b* em relação à testemunha e ao trinexapaque-etílico 0,60 L ha⁻¹, e quanto às épocas de aplicação, aos 60 DAC foi obtido o menor conteúdo comparado às demais épocas (Tabela 17).

No desdobramento tratamentos x DAC (Tabela 19) observou-se que na época de 15 DAC, o tratamento trinexapaque-etílico a 0,80 L ha⁻¹ superou a testemunha e as demais doses, na ordem 20,5% a 36%. Já aos 30 DAC os tratamentos não tiveram influência sobre a clorofila total *a+b*, porém é importante ressaltar que numericamente todos os tratamentos foram superiores à testemunha. Aos 45 DAC os tratamentos trinexapaque-etílico 1,00; 1,20 e 0,60 L ha⁻¹ superaram a testemunha na ordem de 21%, 15,1% e 3,7%, respectivamente, e aos 60 DAC os tratamentos trinexapaque-etílico 1,00 e 0,80 L ha⁻¹ aumentaram a clorofila total em 41,5% e 33,3%, respectivamente, em relação à testemunha.

Tabela 17 - Conteúdo de clorofila total *a+b* ($\mu\text{g cm}^{-2}$) em cana-soca aos 45 e 90 dias depois da colheita (DDC) sob efeito de maturadores aplicados em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarçu do Tietê/SP, 2015.

Tratamento	DDC		Tratamento	DDC		Tratamento	DDC	
	45	90		45	90		45	90
	-- $\mu\text{g cm}^{-2}$ --			-- $\mu\text{g cm}^{-2}$ --			-- $\mu\text{g cm}^{-2}$ --	
Testemunha	11,8A ¹	19,4A ²	Testemunha	11,7 ³	19,4B ⁴	Testemunha	11,7AB ⁵	19,4B ⁶
Glifosato 0,35	6,7B	16,1B	Trinexapaque-etílico 0,60	13,	19,6B	Glifosato 0,45	7,1C	16,2C
Glifosato 0,45	7,1B	16,2B	Trinexapaque-etílico 0,80	13,6	22,2A	SM 0,02	10,5B	19,1B
Glifosato 0,50	7,1B	17,2B	Trinexapaque-etílico 1,00	13,1	22,6A	TE 0,80	13,6A	22,2A
Glifosato 1,00	7,6B	15,8B	Trinexapaque-etílico 1,20	14,5	20,8AB			
DAC								
60	8,1	15,6		13,6	19,7b		10,8	18,3bc
45	8,2	17,1		13,4	21,6a		10,7	17,9c
30	8,3	17,6		13,4	21,2a		11,1	19,7ab
15	7,7	17,4		12,3	21,3a		10,4	21,1a
¹ Tratamento (T), p=0,0001*; Dias antes da colheita (DAC), p=0,7116 ^{ns} ; TxDAC=0,9824 ^{ns} ; CV%= 22,8 ² Tratamento (T), p=0,0109*; Dias antes da colheita (DAC), p=0,0757*; TxDAC=0,0472*; CV%= 15,0 ³ Tratamento (T), p=0,12073 ^{ns} ; Dias antes da colheita (DAC), p=0,1966*; TxDAC=0,5753 ^{ns} ; CV%= 15,9 ⁴ Tratamento (T), p=0,0096*; Dias antes da colheita (DAC), p=0,0393*; TxDAC=<0,001**; CV%= 10,0 ⁵ Tratamento (T), p=0,0002*; Dias antes da colheita (DAC), p=0,7637 ^{ns} ; TxDAC=0,9799 ^{ns} ; CV%= 17,9 ⁶ Tratamento (T), p=0,0057*; Dias antes da colheita (DAC), p=0,0003 ^{ns} ; TxDAC=0,0624 ^{ns} ; CV%= 11,0								

OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na vertical (épocas de aplicação –DAC-); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade; CV%= coeficiente de variação, TE=Trinexapaque-etílico, SM= Sulfometurom-metílico.

Tabela 18 - Desdobramento do conteúdo de clorofila ($\mu\text{g cm}^{-2}$) em cana-soca aos 90 dias depois da colheita (DDC) sob efeito da aplicação de maturador glifosato em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarapé do Tietê/SP, 2015.

Tratamento	DAC				Média
	60	45	30	15	
	----- $\mu\text{g cm}^{-2}$ -----				
Testemunha	17,0	20,1A	19,7A	20,8A	19,4
Glifosato 0,35	16,6	15,7AB	15,3B	16,7B	16,1
Glifosato 0,45	14,2	14,4B	18,1AB	18,2AB	16,2
Glifosato 0,50	14,3	20,5A	19,3,1A	15,0B	17,2
Glifosato 1,00	16,1	15,1AB	15,8B	16,3,4B	15,8
Média	15,7	17,1	17,6	17,4	

Tratamento (T), $p=0,0109^*$; Dias antes da colheita (DAC), $p=0,0757^{ns}$; TxDAC= $0,0472^*$; CV%= 15,0
 OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na horizontal (DAC= Dias antes da colheita); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade, CV%= coeficiente de variação.

Em resumo, nos tratamentos testemunha e trinexapaque-etílico a $0,60 \text{ L ha}^{-1}$ não foram constatadas diferenças nas diferentes épocas de aplicação, já sob trinexapaque-etílico a $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ houve maior conteúdo de clorofila aos 15 DAC ($25 \mu\text{g cm}^{-2}$) quando comparado aos 45 DAC ($18,9 \mu\text{g cm}^{-2}$), enquanto no tratamento trinexapaque-etílico a $1,20 \text{ L ha}^{-1}$ houve incremento aos 30 DAC ($23,4 \mu\text{g cm}^{-2}$) e aos 45 DAC ($23,6 \mu\text{g cm}^{-2}$) quando comparados aos 60 DAC ($16,0$), e sob trinexapaque-etílico $1,00 \text{ L ha}^{-1}$ houve redução aos 30 DAC ($20,1 \mu\text{g cm}^{-2}$) se comparado aos 45 DAC ($24,4 \mu\text{g cm}^{-2}$) (Tabela 19). Houve incremento no conteúdo de clorofila de 45 DDC para 90 DDC, na ordem de 42% (trinexapaque-etílico $1,20 \text{ L ha}^{-1}$) a 72% (trinexapaque-etílico $1,00 \text{ L ha}^{-1}$), e para as épocas de aplicação em 45% (DAC 15) a 75% (60 DAC). Os resultados encontrados neste estudo evidenciam que o efeito do trinexapaque-etílico no perfilhamento e altura de plantas pode estar relacionado ao aumento de clorofila antes e depois da colheita.

Tabela 19 - Desdobramento do conteúdo de clorofila total $a+b$ ($\mu\text{g cm}^{-2}$) em cana-soca aos 90 dias depois da colheita (DDC) sob efeito da aplicação de maturador trinexapaque-etílico em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarçu do Tietê/SP, 2015.

	DAC				Média
	60	45	30	15	
Tratamento	----- $\mu\text{g cm}^{-2}$ -----				
Testemunha	17,0BC	20,1BC	19,7	20,8BC	19,4
Trinexapaque-etílico 0,60	19,1B	20,9ABC	20,1	18,4C	19,6
Trinexapaque-etílico 0,80	22,6Ab	18,9Cc	22,4b	25,0Aa	22,2
Trinexapaque-etílico 1,00	24,0Ab	24,4Ab	20,1b	21,9Bab	22,6
Trinexapaque-etílico 1,20	16,0Cc	23,6ABa	23,4a	20,4BCb	20,9
Média	19,7	21,6	21,2	21,3	

Tratamento (T), $p=0,0096^*$; Dias antes da colheita (DAC), $p=0,0393^*$; TxDAC= $<0,001^{**}$; CV%= 10,0

OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na horizontal (DAC=Dias antes da colheita); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade; CV%= coeficiente de variação.

Para os tratamentos com doses comerciais dos maturadores, aos 45 DDC não houve interação entre T e DAC ($p=0,9799$) (Tabela 17) e, em média, o tratamento trinexapaque-etílico a $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ teve elevado conteúdo total de clorofila total $a+b$, superando em 25% a testemunha, mas sem diferença estatística, enquanto o glifosato $0,45 \text{ L ha}^{-1}$ reduziu em 23,5% esse conteúdo. Sulfometurom-metílico não alterou o conteúdo total de clorofila total $a+b$, tendo comportamento similar à testemunha. Não houve diferenças no conteúdo de clorofila entre as épocas de aplicação.

Aos 90 DDC não houve interação entre T e DAC ($p=0,0624$), porém foram observadas diferenças entre os tratamentos e épocas de aplicação (Tabela 16). Em média o tratamento com trinexapaque-etílico superou a testemunha em 14,6%, o sulfometurom metílico não difenciou da testemunha e o glifosato $0,45 \text{ L ha}^{-1}$ reduziu em 16,4% em relação à testemunha. Aos 15 e 30 DAC foram constatados os maiores conteúdos de clorofila ($21,1$ e $19,7 \mu\text{g cm}^{-2}$) quando comparado aos 45 e 60 DAC ($17,9$ e $18,3 \mu\text{g cm}^{-2}$).

Houve incremento do conteúdo de clorofila total $a+b$ de 45 para 90 DDC na ordem de 63% (trinexapaque-etílico $0,80 \text{ L ha}^{-1}$) a 128,2% (glifosato $0,45 \text{ L ha}^{-1}$), já para as épocas de aplicação houve incremento de 67% (30 DAC) a 102,9% (60 DAC).

4.3.2.2 Carotenoides

As doses de glifosato não causaram efeito significativo na interação entre T e DAC ($p=0,6528$) (Tabela 20) em relação aos teores de carotenoides aos 45 DDC. Os tratamentos apresentaram diferenças, em que todas as doses reduziram o conteúdo de carotenoides na faixa de 31,6% a 36,1%. Da mesma forma, houve diferença entre as épocas de aplicação, em que aos 60 DAC foi observado o maior conteúdo de carotenoides com $2,2 \mu\text{g cm}^{-2}$. Já para a data de avaliação de 90 DDC, houve interação entre T e DAC ($p=0,0141$), bem como houve diferença entre os tratamentos, em que todas as doses de glifosato proporcionaram redução no teor de carotenoides em relação à testemunha (Tabela 20).

Observa-se pelo desdobramento de T x DAC que todos os tratamentos reduziram o conteúdo de carotenoides na faixa de 19,2% a 28,5% em relação à testemunha sem aplicação na época de aplicação 15 DAC (Tabela 21). Aos 30 DAC, novamente todos os tratamentos reduziram o conteúdo de carotenoides comparados à testemunha, na ordem de 12% a 24,8%, com exceção ao glifosato a $0,50 \text{ L ha}^{-1}$. Já para os 45 DAC houve redução de carotenoides na faixa de 25,8% a 28% em relação à testemunha e, finalmente, e aos 60 DAC não houve diferenças entre os tratamentos, indicando recuperação das plantas ao efeito fitotóxico de glifosato quando aplicado com maior antecipação, tendo maior disponibilidade de metabolizar o produto.

De maneira geral, somente no tratamento de glifosato a $0,50 \text{ L ha}^{-1}$ foram observadas diferenças entre as épocas de aplicação no conteúdo de carotenoides, sendo 45 e 30 DAC as épocas que apresentaram maiores valores, $4,1$ e $3,7 \mu\text{g cm}^{-2}$, respectivamente, em relação aos 60 DAC. Os demais tratamentos não apresentaram variação no conteúdo de carotenoides nas diferentes épocas de aplicação (Tabela 21).

Houve incremento no conteúdo de carotenoides de 45 para 90 DDC, na ordem de 44,4% (testemunha) até 94% (glifosato $0,35 \text{ L ha}^{-1}$), já para as épocas houve incremento na faixa de 50% (60 DAC) a 84% (30 DAC) (Tabela 20).

As doses de trinexapaque-etílico não promoveram efeito na interação entre T e DAC ($p=0,0866$) sobre o conteúdo de carotenoides na avaliação de 45 DDC, assim como não foram observadas diferenças entre os tratamentos ou entre as épocas de aplicação, indicando que, independentemente da dose e época de aplicação de

trinexapaque-etílico, não houve alteração no conteúdo de carotenoides na cana-de-açúcar durante a rebrota (Tabela 20).

Tabela 20 - Conteúdo de carotenoides ($\mu\text{g cm}^{-2}$) em cana-soca aos 45 e 90 dias depois da colheita (DDC) sob efeito de maturadores aplicados em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igaráçu do Tietê/SP, 2015.

Tratamento	DDC		Tratamento	DDC		Tratamento	DDC	
	45	90		45	90		45	90
Testemunha	2,7A ¹	3,9A ²	Testemunha	2,7 ³	3,9B ⁴	Testemunha	2,7A ⁵	3,9AB ⁶
Glifosato 0,35	1,8B	3,1B	Trinexapaque-etílico 0,60	2,8	3,9B	Glifosato 0,45	1,72C	3,3C
Glifosato 0,45	1,7B	3,3B	Trinexapaque-etílico 0,80	3,0	4,4A	SM 0,02	2,3B	3,7BC
Glifosato 0,50	1,8B	3,4B	Trinexapaque-etílico 1,00	2,8	4,4A	TE 0,80	3,0A	4,4A
Glifosato 1,00	1,8B	3,2B	Trinexapaque-etílico 1,20	3,0	4,0B			
DCA								
60	2,2a	3,3		2,9	4,0		2,5	3,9
45	1,9b	3,4		2,9	4,2		2,3	3,5
30	1,9b	3,5		2,9	4,2		2,5	3,9
15	1,9b	3,4		2,8	4,1		2,4	4,0

¹Tratamento (T), $p < 0,0001^*$; Dias antes da colheita (DAC), $p = 0,0415^*$; TxDAC = 0,6528^{ns}; CV% = 17,3

²Tratamento (T), $p = 0,0039^*$; Dias antes da colheita (DAC), $p = 0,5397^{\text{ns}}$; TxDAC = 0,0141^{*}; CV% = 14,2

³Tratamento (T), $p = 0,1791^{\text{ns}}$; Dias antes da colheita (DAC), $p = 0,4046^{\text{ns}}$; TxDAC = 0,0866^{ns}; CV% = 10,8

⁴Tratamento (T), $p = 0,0022^*$; Dias antes da colheita (DAC), $p = 0,2111^{\text{ns}}$; TxDAC = $< 0,0001^{**}$; CV% = 8,5

⁵Tratamento (T), $p = 0,0001^*$; Dias antes da colheita (DAC), $p = 0,6362^{\text{ns}}$; TxDAC = 0,9538^{ns}; CV% = 14,3

⁶Tratamento (T), $p = 0,0048^*$; Dias antes da colheita (DAC), $p = 0,0601^{\text{ns}}$; TxDAC = 0,2721^{ns}; CV% = 13,0,

OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na vertical (DAC=Dias antes da colheita); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade; CV%= coeficiente de variação, TE=Trinexapaque-etílico, SM=Sulfometurom-metílico.

Na avaliação aos 90 DDC foi observada interação entre T e DAC ($p < 0,0001$), e também diferenças entre os tratamentos, em que o trinexapaque-etílico a 0,80 e 1,00 L ha⁻¹ proporcionaram conteúdo de carotenoides superior quando comparados com a testemunha e com trinexapaque-etílico a 0,60 e 1,20 L ha⁻¹, porém não foram observadas diferenças entre as médias dos tratamentos para as épocas de aplicação (Tabela 20).

Quanto ao desdobramento de T x DAC (Tabela 21), aos 15 DAC, no tratamento trinexapaque-etílico a 0,80 L ha⁻¹ foi observado incremento no conteúdo de carotenoides em 11,24%, e sob trinexapaque-etílico na dose a 0,60 L ha⁻¹ houve redução de 11,2%, ambos em relação à testemunha, enquanto nos tratamentos trinexapaque-etílico a 1,00 e 1,20 L ha⁻¹ não foram identificadas diferenças. Aos 30 DAC não foram verificadas diferenças entre os tratamentos. Para os 45 DAC, os tratamentos trinexapaque-etílico a 1,00 L e 1,20 L ha⁻¹ foram superiores à testemunha, com incremento de 16,7% para ambos, enquanto para os demais tratamentos não houve diferença. Aos 60 DAC novamente houve efeito de dose-dependente de trinexapaque-etílico para conteúdo de carotenoides, pois trinexapaque-etílico a 0,80 e 1,00 L ha⁻¹ proporcionaram valores superiores à testemunha, com incrementos de 36,4% e 32,4%, respectivamente, enquanto nas doses de 0,60 e 1,20 L ha⁻¹ não houve diferenças.

De maneira geral, o tratamento trinexapaque-etílico a 1,00 L ha⁻¹ reduziu o conteúdo de carotenoides quando aplicado aos 30 DAC, e sob trinexapaque-etílico 1,20 L ha⁻¹ houve incremento quando aplicado aos 45 DAC e 30 DAC, na ordem de 4,6 e 4,4 µg cm⁻², respectivamente. Os demais tratamentos não mostraram diferenças nas diferentes épocas de aplicação (Tabela 21).

Quanto as épocas avaliadas, houve incremento de 45 para 90 DDC no conteúdo de carotenóides, na ordem de 33% (trinexapaque-etílico 1,20 L ha⁻¹) até 57% (trinexapaque-etílico 1,00 L ha⁻¹), já para as épocas de aplicação houve incremento na faixa de 52% (45 DAC) a 66,7% (15 DAC) (Tabela 20).

Tabela 21 - Desdobramento do conteúdo carotenoides ($\mu\text{g cm}^{-2}$) em cana-soca aos 90 dias depois da colheita (DDC) sob efeito da aplicação de doses dos maturadores glifosato e trinexapaque-etílico em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarçu do Tietê/SP, 2015.

Tratamento	DAC				Média
	60	45	30	15	
	----- $\mu\text{g cm}^{-2}$ -----				
Testemunha	3,5	4,0A	4,0A	4,2A	3,9
Glifosato 0,35	3,2	2,8B	3,1CD	3,1B	3,1
Glifosato 0,45	3,4	2,9B	3,5BC	3,3B	3,3
Glifosato 0,50	2,9c	4,1Aa	3,7ABab	3,0Bbc	3,4
Glifosato 1,00	3,4	2,9B	3,0D	3,4B	3,2
Média	3,3	3,4	3,5	3,4	
Tratamento (T), $p=0,0039^*$; Dias antes da colheita (DAC), $p=0,5397^{ns}$; TxDAC= $0,0141^*$; CV%= 14,2					
	----- $\mu\text{g cm}^{-2}$ -----				
Testemunha	3,5BC	4,0C	4,0	4,2B	3,9
Trinexapaque-etílico 0,60	3,8B	4,0BC	4,0	3,7C	3,9
Trinexapaque-etílico 0,80	4,7Aa	3,7Cb	4,4ab	4,6Aa	4,4
Trinexapaque-etílico 1,00	4,6Aa	4,6Aa	4,0b	4,3ABab	4,4
Trinexapaque-etílico 1,20	3,2Cc	4,6ABa	4,4a	3,9BCb	4,0
Média	4,0	4,2	4,2	4,1	
Tratamento (T), $p=0,0022^*$; Dias antes da colheita (DAC), $p=0,2111^{ns}$; TxDAC= $<0,0001^{**}$; CV%= 8,5					

OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na horizontal (DAC=Dias antes da colheita); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade; CV%= coeficiente de variação.

Sob os tratamentos com doses comerciais dos maturadores, incluindo sulfometurom metílico, não encontrou-se interação entre T e DAC ($p=0,9538$) para conteúdo de carotenoides aos 45 DDC (Tabela 20), mas houve diferenças entre os tratamentos, em que trinexapaque-etílico a $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ e testemunha foram estatisticamente similares e superiores, seguidos de sulfometurom-metílico $0,02 \text{ kg ha}^{-1}$ com redução de 14,5% em relação à testemunha, e glifosato a $0,45 \text{ L ha}^{-1}$, com o menor valor, apresentou queda de 36%. No entanto, não foram observadas diferenças entre as épocas de aplicação, indicando que independentemente da época de aplicação houve redução do conteúdo de carotenoides.

Na avaliação aos 90 DDC não houve interação entre T e DAC ($p=0,2721$), assim como não houve diferença entre as épocas de aplicação, porém, de maneira geral, os tratamentos apresentaram diferenças, com comportamento similar à avaliação de 45 DDC, em que o trinexapaque-etílico a $0,80 \text{ L ha}^{-1}$ foi similar

estatisticamente à testemunha, enquanto sulfometurom-metílico 0,02 kg ha⁻¹ reduziu em 4,6%, e glifosato reduziu em 15,9% o conteúdo de carotenoides (Tabela 20).

Houve incremento no conteúdo de carotenoides de 45 para 90 DDC, na ordem de 44,4% (testemunha) a 94% (sulfometurom-metílico 0,02 kg ha⁻¹), já as épocas apresentaram incremento na faixa de 52% (45 DAC) a 67% (15 DAC) (Tabela 20).

De forma geral, tanto para o conteúdo de clorofila total, quanto para carotenoides ($\mu\text{g cm}^{-2}$), o glifosato reduziu o conteúdo dos pigmentos fotossintéticos em diferentes magnitudes. De acordo com Gomes et al. (2014) e Yamada e Castro (2007), a redução do teor de clorofila pode ser resultado da menor síntese ou degradação pelo glifosato. Neste estudo foi visualmente observado algumas características do efeito de glifosato apresentadas em outros estudos, como na erradicação de soqueira (ADRIANO et al., 2013), deficiência de ferro (RADHAMANI et al., 2015), deficiência de Mg (CAKMAK, 2009) ou por estresse hídrico (ZHANG et al., 2015), sendo caracterizados pela seguinte sintomatologia: clorose internerval em folhas novas, possivelmente pela redução na sínteses de Fe, inibição do crescimento, plantas com aspecto coriáceo nas folhas, sendo transitório dependendo da dosagem, até destruição de cloroplastos.

Zhang et al. (2015) relataram que com a redução da síntese ou bloqueio da clorofila, pode levar a mudanças na estrutura de cloroplastos, de acordo com a intensidade de estresse hídrico (leve, moderado a severo). No entanto, a clorose pode ser posicional, isso significa que as sintomatologias podem desaparecer de algumas folhas e aparecer em outras mais novas, devido à falta de clorofila, já que segundo Zobiolo et al. (2011), o glifosato pode limitar a assimilação de N reduzindo o conteúdo de clorofila, ademais podem causar redução da síntese de ácido aminolevulínico, precursor da síntese de clorofila (MARSH et al., 1963; YAMADA; CASTRO, 2007). Além disso, o Fe é essencial na formação de clorofila, proteínas, fotossíntese, transferência de elétrons, oxidação e redução de nitrato, sulfato e atividade enzimática (RADHAMANI et al., 2015), com efeitos na produção do ciclo seguinte.

Ainda, o glifosato, de maneira indireta, inibe a produção de ácido indolacético (AIA), dependente do aminoácido triptofano (YAMADA; CASTRO, 2007; AZANIA et al., 2013), assim como a fenilalanina e tirosina, devido ao bloqueio da enzima 5-enolpiruvichiquimato-3-fosfate sintase (EPSPs) na rota de chiquimato, levando à redução de os aminoácidos (VELINI et al., 2009). No entanto, estudos recentes indicam que o triptofano não tem alterações significativas pelo glifosato, por,

possivelmente, estar envolvido na degradação de proteínas e liberação de aminoácidos nos tecidos (CARBONARI et al., 2014). Mas, de acordo com Lee e Dumas (1985), plantas com alta taxa natural de AIA são mais tolerantes ao glifosato, sendo esta uma razão pela pouca alteração de triptofano.

No caso de sulfometurom-metílico, Leite (2010), encontrou valores similares à testemunha sem aplicação e com incremento, indicando que este composto pode alterar positivamente os teores de clorofila, mas, sem conhecer o porquê desse mecanismo.

Já para o caso de trinexapaque-etílico, segundo March et al. (2013), o incremento das clorofilas deve-se ao incremento do teor de citocininas, responsáveis pela biossíntese de clorofilas. Viana et al. (2015a), avaliando características morfoanatômicas nas folhas das variedades SP80-3280 e SP80-1842 sob efeito residual de maturadores, encontraram diferenças entre o teor de clorofila nas folhas pela ação dos maturadores, mas também houve diferença entre as variedades testadas, com diferenças em espessura da epiderme da face adaxial; espessura da epiderme da face abaxial; espessura do mesofilo; espessura do limbo; diâmetro do xilema; e diâmetro do floema. Essas diferenças foram explicadas por Ervin e Koski (2001), quando aplicaram trinexapaque-etílico em gramado, relataram aumento de densidade celular, redução de alongamento celular sem afetar o conteúdo de carboidratos, assim como incremento da concentração de clorofila, explicando a cor intensa na rebrota na soqueira.

Em doses específicas, trinexapaque-etílico aumentou o conteúdo de carotenoides fornecendo maior proteção à planta de qualquer tipo de dano, por outro lado doses de glifosato reduziram o conteúdo de carotenoides, o que é explicado pelos danos na rebrota, já que Taiz e Zeiger (2013) reportaram que os carotenoides estão ligados às clorofilas, sendo responsáveis pela transferência de energia. Além disso, Gomes et al. (2014) indicaram que glifosato pode afetar indiretamente a fotossíntese pela inibição dos carotenoides, sendo este, possivelmente, o dano que o glifosato nas doses avaliadas causa na rebrota. De acordo com Taiz e Zeiger (2013), os carotenoides desempenham papel essencial na fotoproteção, protegendo o aparelho fotossintético contra o oxigênio singlete (1O_2), extremamente reativo, que danifica muitos componentes celulares, como lipídeos. Portanto, esses pigmentos são importantes na prevenção da indução de danos oxidativos causados pelo estresse, o que explica as diferenças entre os tratamentos glifosato e trinexapaque-etílico neste

estudo, o primeiro com redução e o segundo com incremento do teor de carotenoides, já sob sulfometurom-metílico não houve alteração.

Viator et al. (2008), avaliando diferentes épocas de aplicação (40, 50 e 60 DAC), mencionaram que o nível do estresse residual na próxima soqueira varia com o tempo entre aplicação e colheita (DAC) do maturador, em que encontraram maior efeito aos 60 DAC, sendo similar aos resultados deste estudo, mas, os resultados obtidos, se observou redução e danos na rebrota devido à diferentes doses testadas em todas as épocas. Segundo Hiyamichi (1991), a quantidade de glifosato translocado às outras partes da planta dependerá do intervalo entre a aplicação e a colheita. Viator et al. (2008) relataram que a brotação das gemas do nó ou rebrota da soqueira mobiliza o glifosato armazenado nas partes metabolicamente ativas, sendo confirmado por Nomura (1986), que avaliou glifosato marcado, e mostrou que a radioatividade armazenada na soqueira, onde teve movimento para a nova rebrota, o que pode levar à diminuição da produtividade na soqueira seguinte (VIATOR et al., 2008), sendo similar ao comportamento dos resultados deste trabalho, onde o resíduo de glifosato permaneceu na soqueira e foi observado nas folhas da cana-soca.

4.3.2.3 Índice SPAD

Para o índice SPAD na rebrota, foi observado na data de avaliação de 45 DDC interação significativa entre os tratamentos e épocas de aplicação ($p=0,0193$) de glifosato e foram observadas diferenças entre os tratamentos, em que todas as doses glifosato proporcionaram redução no índice SPAD em relação à testemunha, porém, para as médias dos tratamentos, não foram observadas diferenças entre as épocas de aplicação (Tabela 22).

Avaliando o desdobramento de T e DAC (Tabela 23), foi observado que na época de 15 DAC houve diferenças entre os tratamentos, em que o glifosato 0,45; 1,00 e 0,50 L ha⁻¹ reduziram o índice relativo de clorofila SPAD em 23,7%, 23,8% e 32,1%, respectivamente, em relação à testemunha. Para os 30 DAC todos os tratamentos reduziram o conteúdo do índice SPAD na faixa de 15,8% a 25,6% em relação à testemunha. Já para os 45 DAC os tratamentos de glifosato 0,50 e 0,45 L ha⁻¹ reduziram o índice SPAD em 20% e 22,3%, respectivamente, em relação à

testemunha e para a época de 60 DAC todos os tratamentos mostraram queda no índice SPAD, na faixa de 15,9% (glifosato 0,50 L ha⁻¹) a 39,2% (glifosato 1,00 L ha⁻¹).

Em média os tratamentos apresentaram redução nas diferentes épocas de aplicação, em que para glifosato 0,35 L ha⁻¹ a maior queda foi na época de 60 DAC (22,5 índices SPAD) quando comparado com 15 DAC (28,9 índices SPAD). Já para glifosato 0,50 L ha⁻¹ a maior queda foi aos 15 DAC com 22 unidades SPAD. Os demais tratamentos não mostraram significância no índice relativo de clorofila.

Na data de avaliação de 90 DDC foi verificada interação entre T e DAC ($p=0,0003$), bem como diferença entre os tratamentos, em que as doses de glifosato 0,50 e 1,00 L ha⁻¹ reduziram o índice SPAD em relação à testemunha, porém não houve diferença entre as épocas de aplicação para as médias dos tratamentos (Tabela 22).

Com o desdobramento de T x DAC aos 90 DDC foi observado que aos 15 DAC não houve diferenças entre os tratamentos no índice SPAD (Tabela 23). Com aplicação aos 30 DAC os tratamentos de glifosato 0,35; 1,00 e 0,50 L ha⁻¹ reduziram em 14,9%, 16,1% e 19,9%, respectivamente, em relação à testemunha. Já para os 45 DAC os tratamentos de glifosato 0,50; 0,45 e 1,00 L ha⁻¹ reduziram em 17,4%, 20,7% e 29,4%, respectivamente, em relação à testemunha e para os 60 DAC todos os tratamentos apresentaram redução do índice SPAD na faixa de 11,2% (glifosato 0,45 L ha⁻¹) a 30,8% (glifosato 1,00 L ha⁻¹).

Em média, os tratamentos apresentaram diferenças no índice SPAD nas diferentes épocas. Para a testemunha o menor índice SPAD foi observado na época 15 DAC (39,33). Nos tratamentos glifosato 0,35 e 0,45 L ha⁻¹ os menores índices foram aos 30 e 45 DAC, com 36,8 e 35,3 no índice SPAD, respectivamente. Para os demais tratamentos não houve diferenças nas épocas de aplicação (Tabela 23).

Observou-se incremento do conteúdo relativo de clorofila SPAD da avaliação de 45 DDC para 90 DDC, na faixa de 31,7% (testemunha) até 59% (glifosato 0,45 L ha⁻¹), assim como nas diferentes épocas de aplicação, na faixa de 37,3% (30 DAC) a 45,7% (15 DAC) (Tabela 22).

Sob os tratamentos de doses de trinexapaque-etílico não houve interação entre T e DAC ($p=0,8089$) na data de avaliação de 45 DDC, e, em média, os tratamentos apresentaram diferenças, em que todos os tratamentos apresentaram incrementos no índice SPAD sobre a testemunha, na faixa de 8,8% a 14,3%. Da mesma forma foram

observadas diferenças entre as épocas, em que na época de 15 DAC houve o menor índice SPAD, 34,2, em relação a 60 DAC, 36,9 (Tabela 22).

Para a data de avaliação de 90 DDC houve interação entre T e DAC ($p=0,0159$), assim como foram observadas diferenças entre as médias dos tratamentos e das épocas de aplicação, em que os tratamentos de trinexapaque-etílico nas doses de 0,80; 1,00¹ e 1,20 L ha⁻¹ aumentaram o índice SPAD em relação à testemunha, e quanto às épocas, com aplicação aos 15 DAC foi observado índice SPAD inferior às épocas 45 e 60 DAC (Tabela 22).

Conforme observado no desdobramento de T x DAC aos 90 DDC, os tratamentos superaram a testemunha no índice SPAD de 10,7% (trinexapaque-etílico 1,00 L ha⁻¹) até 16,8% (trinexapaque-etílico 1,20 L ha⁻¹) aos 15 DAC (Tabela 24). Com as aplicações aos 30, 45 e 60 DAC, os tratamentos não apresentaram diferenças no índice SPAD.

Tabela 22 - Índice SPAD em cana-soca aos 45 e 90 dias depois da colheita (DDC) sob efeito de maturadores aplicados em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarauçu do Tietê/SP, 2015.

Tratamento (A)	DDC		Tratamento (A)	DDC		Tratamento (A)	DDC	
	45	90		45	90,0		45	90
Testemunha	32,8A ¹	43,2A ²	Testemunha	32,8B ³	43,2B ⁴	Testemunha	32,8B ⁵	43,2AB ⁶
Glifosato 0,35 L	26,6B	39,5AB	Trinexapaque-etílico 0,60 L	35,9A	45,0AB	Glifosato 0,45 L	25,0C	39,8B
Glifosato 0,45 L	25,0BC	39,8A	Trinexapaque-etílico 0,80 L	36,2A	46,1A	SM 0,02 kg	31,7B	43,1AB
Glifosato 0,50 L	25,8BC	36,0BC	Trinexapaque-etílico 1,00 L	35,7A	45,1A	TE 0,80 L	36,2A	46,1A
Glifosato 1,00 L	24,3C	33,2C	Trinexapaque-etílico 1,20 L	37,5A	46,4A			
DAC (B)								
60	26,1	37,9		36,9a	46,0a		32,1	44,4a
45	27,2	37,8		36,3a	45,8a		31,5	42,1b
30	27,9	38,3		35,1ab	44,7ab		31,2	43,1ab
15	26,5	38,6		34,2a	44,1b		30,8	42,5b

¹Tratamento (T), p=<0,0001*; Dias antes da colheita (DAC), p=0,2755^{ns}; TxDAC=0,0193*; CV%= 11,4

²Tratamento (T), p=0,0009*; Dias antes da colheita (DAC), p=0,7558^{ns}; TxDAC=0,0003*; CV%= 6,8

³Tratamento (T), p=0,0031*; Dias antes da colheita (DAC), p=0,0430*; TxDAC=0,8089^{ns}; CV%= 8,9

⁴Tratamento (T), p=0,0170*; Dias antes da colheita (DAC), p=0,0296*; TxDAC=0,0159*; CV%= 5,0

⁵Tratamento (T), p=<0,0001**; Dias antes da colheita (DAC), p=0,4023^{ns}; TxDAC=0,5573^{ns}; CV%=7,0

⁶Tratamento (T), p=0,048*; Dias antes da colheita (DAC), p=0,0301*; TxDAC=0,0003*; CV%= 5,0

OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na vertical (DAC=Dias antes da colheita); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade; CV%= coeficiente de variação, TE=Trinexapaque-etílico, SM=Sulfometurom-metílico

Tabela 23 - Desdobramento do índice SPAD em cana-soca, aos 45 e 90 dias depois da colheita (DDC), sob efeito da aplicação do maturador glifosato, em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarauçu do Tietê/SP, 2015.

45 DDC	DAC				Média
	60	45	30	15	
-----Índice SPAD-----					
Tratamento					
Testemunha	33,9A	31,7A	33,2A	32,3A	32,8
Glifosato 0,35 L	22,5Db	27,2ABab	28,0Ba	28,9ABa	26,6
Glifosato 0,45 L	24,7C	24,6B	26,1B	24,7BC	25,0
Glifosato 0,50 L	28,5Ba	25,3Bab	27,4Ba	22,0Cb	25,8
Glifosato 1,00 L	20,6D	27,4AB	24,7B	24,6BC	24,3
Média	26,1	27,2	27,9	26,5	
Tratamento (T), p=<0,0001*; Dias antes da colheita (DAC), p=0,2755NS; TxDAC=0,0193*; CV%= 11,4					
-----Índice SPAD-----					
90 DDC					
Testemunha	45,6Aa	44,5Aa	43,3Aab	39,3b	43,2
Glifosato 0,35 L	39,1BC	41,0AB	36,8B	41,0	39,5
Glifosato 0,45 L	40,5Ba	35,3BCb	40,3Aa	41,7a	39,5
Glifosato 0,50 L	34,9CD	36,8BC	34,7B	37,7	36,0
Glifosato 1,00 L	31,5D	31,4C	36,3B	33,4	33,2
Média	38,3	37,8	38,3	38,6	
²Tratamento (T), p=0,0009*; Dias antes da colheita (DAC), p=0,7558 ^{ns} ; TxDAC=0,0003*; CV%= 6,8					

OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na horizontal (DAC=Dias antes da colheita); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV%= coeficiente de variação.

Em média os tratamentos apresentaram, nas diferentes épocas de aplicação, diferenças no índice SPAD. A testemunha teve o menor índice SPAD na época de 15 DAC (39,3) quando comparado com a época 60 DAC (45,6 índices SPAD). Sob trinexapaque-etílico a 1,00 L ha⁻¹ o maior valor foi com aplicação aos 30 DAC (47,6 índices SPAD), e para os demais tratamentos não houve diferença entre as diferentes épocas de aplicação (Tabela 24).

Tabela 24 - Desdobramento do índice SPAD em cana-soca aos 90 dias depois da colheita (DDC) sob efeito da aplicação de maturador trinexapaque-etílico em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarauçu do Tietê/SP, 2015.

Tratamento	DAC				Média
	60	45	30	15	
	-----Índice SPAD-----				
Testemunha	45,6ABa	44,5a	43,3ab	39,3Bb	43,2
Trinexapaque-etílico 0,60 L	45,8AB	45,4	42,8	45,8A	45,0
Trinexapaque-etílico 0,80 L	48,1Aa	46,6ab	43,7b	45,8Aab	46,1
Trinexapaque-etílico 1,00 L	44,5Bb	44,8b	47,6a	43,5Ab	45,1
Trinexapaque-etílico 1,20 L	46,1AB	47,6	46,1	45,9A	46,4
Média	46,0	45,8	44,7	44,1	

Tratamento (T), $p=0,0170^*$; Dias antes da colheita (DAC), $p=0,0296^*$; TxDAC= $0,0159^*$; CV%= 5,0
 OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na horizontal (DAC=Dias antes da colheita); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade, CV%= coeficiente de variação.

Houve incremento do índice SPAD de 45 para 90 DDC, na faixa de 23,7% (trinexapaque-etílico 1,20 L ha⁻¹) a 31,7% (testemunha), assim também houve incremento nas diferentes épocas de aplicação, na faixa de 17% (60 DAC) até 28,9% (15 DAC) (Tabela 22).

Sob os tratamentos com doses recomendadas (comerciais) dos maturadores não houve interação entre T e DAC ($p=0,5573$) para o índice SPAD aos 45 DDC (Tabela 22). Em média, os tratamentos apresentaram diferenças ($p=<0,0001$), em que trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹ foi superior à testemunha e ao glifosato 0,45 L ha⁻¹, em 10,4% a 44,6%, respectivamente, já sulfometurom-metílico 0,02 kg ha⁻¹ não alterou o índice SPAD, no entanto, glifosato 0,45 L ha⁻¹ reduziu o índice em 18% em relação à testemunha. Não foram observadas diferenças entre as épocas de aplicação.

Aos 90 DDC houve interação entre T e DAC ($p=0,0003$), bem como foram observadas diferenças entre os tratamentos e entre as épocas de aplicação, em que o trinexapaque-etílico a 0,80 L ha⁻¹ proporcionou índice SPAD superior ao glifosato a 0,45 L ha⁻¹ e com relação às épocas de aplicação, aos 60 DAC foi observado maior índice em relação aos 45 e 15 DAC (Tabela 22).

No desdobramento de T x DAC para a avaliação aos 90 DDC (Tabela 25) foi verificada que não houve diferença entre os tratamentos aos 15 e 30 DAC. Já aos 45 DAC somente com o tratamento de glifosato a 0,45 L ha⁻¹ houve redução do índice SPAD em 20,6% e para aplicação aos 60 DAC novamente o glifosato a 0,45 L ha⁻¹

reduziu o índice em 15,8% e com sulfometurom metílico a 0,02 kg ha⁻¹ teve leve redução aos 60 DAC de 5,1% em relação à testemunha.

De maneira geral, os tratamentos apresentaram diferenças entre as épocas de aplicação, em que na testemunha, o menor valor do índice SPAD foi aos 15 DAC (39,33) quando comparada aos 60 DAC (45,6), já sob glifosato 0,45 L ha⁻¹ o menor valor foi com aplicação aos 45 DAC (35,3) quando comparado com as médias das épocas de 15, 30 e 60 DAC (41,3).

Enquanto sob trinexapaque-etílico a 0,80 L ha⁻¹, o menor valor foi com aplicação aos 30 DAC (43,7) quando comparado com 60 DAC (48,1), e no caso de sulfometurom-metílico 0,02 kg ha⁻¹ não houve diferenças entre as épocas de aplicação, com média das épocas de 43,1 (Tabela 25).

Houve incremento do índice SPAD de 45 para 90 DDC, na faixa de 19,1% (trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹) a 59,2% (glifosato 0,45 L ha⁻¹), como também houve incremento nas diferentes épocas de aplicação, na faixa de 33,6% (45 DAC) até 38,3% (60 DAC) (Tabela 22).

Em resumo, os tratamentos apresentaram respostas diferentes para o índice SPAD. No caso de glifosato houve redução em diferentes magnitudes em todas as épocas avaliadas (DAC), sobretudo aos 45 DDC, no entanto, não houve diferença entre as épocas de aplicação, indicando que a redução foi semelhante independente da época de aplicação.

Tabela 25 - Desdobramento do índice SPAD em cana-soca aos 90 dias depois da colheita (DDC) sob efeito da aplicação de maturadores glifosato, trinexapaque-etílico e sulfometurom-metílico, em doses recomendadas em diferentes épocas antes da colheita (DAC), Igarçu do Tietê/SP, 2015.

Tratamento	DAC				Média
	60	45	30	15	
	-----Índice SPAD-----				
Testemunha	45,6ABa	46,6Aa	43,3ab	39,3Bb	43,2
Glifosato 0,45 L	40,5Ca	35,3Bb	41,7a	41,7ABa	39,8
Sulfometurom metílico 0,02 kg	43,2BC	42,1AB	43,8	43,2AB	43,9
Trinexapaque-etílico 0,80 L	48,1A	46,6A	43,7	45,8A	46,1
Média	44,4	42,1	43,1	42,5	

Tratamento (T), p=0,048*; Dias antes da colheita (DAC), p=0,0301*; TxDAC=0,0003*; CV%= 5,0

OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na horizontal (DAC=Dias antes da colheita); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Comportamento diferenciado houve para trinexapaque-etílico, em que todas as épocas de aplicação promoveram índices SPAD iguais ou superiores à testemunha, aumentando, assim, a coloração verde nas folhas, sendo similar o comportamento de sulfometurom-metílico. No caso de glifosato reduziu o índice SPAD a partir dos 45 e 60 DAC.

O índice SPAD, foi bom indicador das alterações proporcionadas pelos tratamentos aplicados. Esses dados foram similares aos reportados em diversas pesquisas que determinaram que o SPAD é uma boa ferramenta para determinação de danos por estresse hídrico (SILVA et al., 2014) e deficiência de Fe (RADHAMANI, et al., 2015). É importante ressaltar o mencionado por Silva et al. (2014), que para valores de SPAD inferiores a 40 em cana-de-açúcar é sinal de deficiência de clorofila, o que afeta o processo fotossintético, considerando-se bom indicador das mudanças metabólicas nas plantas sob diferentes tipos de estresses. Dessa maneira, o estresse provocado pelo tratamento glifosato, independente da dose, apresentou aos 90 DDC valores inferiores a 40 SPAD, na maioria das épocas de aplicação, indicando efeito residual fitotóxico na planta. Comportamento diferente foi observado para os tratamentos sulfometurom-metílico e trinexapaque-etílico, em que estes tratamentos não alteraram negativamente o índice relativo de clorofila, pelo contrário houve aumento.

Houve recuperação do índice SPAD com o decorrer do tempo (de 45 para 90 DDC), mesmo sob o estresse provocado pelos maturadores, mas essa recuperação foi maior nos tratamentos com glifosato, no entanto, esses valores, em média, foram menores quando comparados aos tratamentos de trinexapaque-etílico e sulfometurom metílico. Estes dados diferem dos reportados por Adriano et al. (2013), que encontraram redução do conteúdo de clorofila (SPAD) aplicando doses altas (>1440 g ia ha⁻¹) de glifosato para erradicação da rebrota (35 cm altura), no entanto na testemunha não houve mudança após de 34 DAA.

De maneira geral, van Heerden et al. (2014) reportaram que os maturadores são uma boa ferramenta para melhorar a qualidade da cana, quando bem manejadas antes da colheita, sem afetar a rebrota da soqueira seguinte, traduzindo-se em maiores rendimentos.

4.3.3 Análises químicas na rebrota

4.3.3.1 Resíduos de glifosato

Nas análises de compostos da rota metabólica de glifosato na rebrota da cana-de-açúcar não foram detectados glifosato e AMPA.

Quanto ao ácido shiquímico na rebrota houve interação entre T e DAC ($p=0,0283$) (Tabela 26). Aos 45 DDC não houve diferenças, mas aos 90 DDC todos os tratamentos aplicados incrementaram o teor, em 4,5% (glifosato $0,35 \text{ L ha}^{-1}$) a 69% (glifosato $1,00 \text{ L ha}^{-1}$). Não houve diferenças entre os tratamentos para concentração de ácido chiquímico de 45 para 90 DDC. Esses dados foram similares aos encontrados por Meschede (2009), quando aplicou glifosato como maturador na dose de 400 mL ha^{-1} e avaliou aos 30 DDC, incrementando o ácido chiquímico em 73% em relação à testemunha, e após essa data não houve significância.

Tabela 26 - Conteúdo de ácido chiquímico, fenilalanina, tirosina e triptofano na rebrota de cana-de-açúcar a 45 e 90 dias depois da colheita (DDC) submetida à aplicação do maturador glifosato.

	Ácido chiquímico ¹ (µg g ⁻¹)		Fenilalanina ² (µg g ⁻¹)		Tirosina ³ (µg g ⁻¹)		Triptofano ⁴ (µg g ⁻¹)			
	DDC									
	45	90	45	90	45	90	M	45	90	M
Test.	31,6	23,4B	135,0A	140,8	334,3	369,3C	351,8	50,1	54,9	52,5
Gli. 0,35	38,6	35,0A	133,8A	137,5	340,0	371,3C	341,3	55,5	58,5	57,0
Gli. 0,45	36,9	38,5A	118,3Bb	138,0a	375,0	389,3B	382,1	54,0	50,5	52,2
Gli. 0,50	34,3	34,4A	132,8Ab	138,0a	338,5	411,3AB	389,3	53,1	55,7	54,4
Gli. 1,00	31,6	39,7A	129,0A	138,0	883,8	408,8A	409,5	38,5	55,7	50,3
Média	34,6	34,2	129,8	138,5	454,2b	390,0a		51,5	55,3	

¹Tratamento (T), p=0,0115*; Dias depois da colheita (DDC), p=0,0850ns; TxDDC=0,0283*; CV%= 16,9

²Tratamento (T), p=0,0052*; Dias depois da colheita (DDC), p=<0,0001**; TxDDC=0,0134*; CV%= 3,3

³Tratamento (T), p=0,0007*; Dias depois da colheita (DDC), p=<0,0001**; TxDDC=0,0939ns; CV%= 6,

⁴Tratamento (T), p=0,1496; Dias depois da colheita (DDC), p=0,0191*; TxDDC=0,01913ns; CV%= 15,6

OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na horizontal (dias depois da colheita –DDC-); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade, CV%= coeficiente de variação. Test.= testemunha, Gli = glifosato

Já para os aminoácidos houve interação entre T e DAC para fenilalanina ($p=0,0134$) (Tabela 26), em que aos 45 DDC houve redução somente para glifosato $0,45 \text{ L ha}^{-1}$, entretanto aos 90 DDC não houve diferença entre os tratamentos. Somente glifosato $0,45$ e $0,50 \text{ L ha}^{-1}$ aumentaram a concentração do aminoácido de 45 para 90 DDC.

Para o aminoácido tirosina houve, em média, aumento da concentração nos tratamentos glifosato $0,45$; $0,50$ e $1,00 \text{ L ha}^{-1}$, na ordem de $8,6\%$, $10,7\%$ e $16,4\%$, respectivamente. Houve aumento de $8,4\%$ da concentração de tirosina de 45 para 90 DDC (Tabela 26),

Para o caso de aminoácido triptofano não houve alteração na concentração em função dos tratamentos, assim como não houve alteração com o decorrer do tempo (DDC), mas, aos 45 DDC houve tendência de redução com a maior dose de glifosato (Tabela 26).

De forma geral, a alteração da rota metabólica na rebrota da cana-de-açúcar em que foi aplicado glifosato antes da colheita é indicador de fitotoxicidade de glifosato, a qual é explicada pela baixa população de perfilhos e altura da planta (Tabelas 13 e 14), especialmente nas doses mais altas, além da redução do peso da colheita na cana-soca como efeito residual (Tabela 10), confirmando desta maneira os resultados de Hayamichi (1991), Hilton et al. (1976) e Nomura et al. (1986), que relataram que glifosato concentra-se em raízes e gemas basais onde brotam novos perfilhos.

4.3.3.2 Resíduos de sulfometurom-metílico e trinexapaque-etílico

Na rebrota da cana-de-açúcar não foram detectados e quantificados resíduos de sulfometurom-metílico e seu metabólito. No entanto nos tratamentos de trinexapaque-etílico, foi detectado e quantificado somente o metabólito trinexapac (ácido livre), em que à medida que houve incremento da dose do maturador trinexapaque-etílico houve maior concentração de seu metabólito, incrementou em 48% a concentração na dose de $0,60$ a $1,20 \text{ L ha}^{-1}$ de trinexapaque-etílico (Tabela 27), mas sem diferença entre as datas de avaliação (45 e 90 DDC). Possivelmente maior concentração de trinexapac (ácido livre) na rebrota pode explicar a redução de altura da planta no crescimento inicial no ciclo seguinte (Tabela 14).

Tabela 27 - Conteúdo de trinexapaque (ácido livre) na rebrota da cana-de-açúcar submetida à aplicação do maturador trinexapaque-etílico.

Tratamentos	Trinexapaque (ácido livre) ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Testemunha	0,00B
Trinexapaque-etílico 0,60 L	0,44A
Trinexapaque-etílico 0,80 L	0,54A
Trinexapaque-etílico 1,00 L	0,62A
Trinexapaque-etílico 1,20 L	0,65A

Tratamento (T), $p=0,001^*$; Dias depois da colheita (DDC), $p=0,3391\text{ns}$; TxDDC= $0,9823\text{ ns}$; CV%= 15,6

OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na horizontal (dias depois da colheita –DDC-); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade, ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV%= coeficiente de variação.

4.3.4 Análises bioenergéticas: Lignina, celulose e hemicelulose

Com relação à lignina (%) na rebrota da cana-de-açúcar onde foram aplicadas doses de glifosato, não houve interação entre T e DAC ($p=0,7351$). Os tratamentos não apresentaram diferenças ($p=0,6155$), no entanto, quando houve diferenças nas datas de avaliação, com redução da lignina % em 10,2% com o decorrer do tempo de 45 para 90 DDC.

Para os tratamentos de trinexapaque-etílico houve interação entre T x DAC ($p=0,0015$), em que aos 45 DDC todas as doses aumentaram o teor de lignina %, superando a testemunha em 23,5% a 34,7% (Tabela 28). Aos 90 DDC, os tratamentos apresentaram diferenças, em que somente trinexapaque-etílico a 0,80 L ha^{-1} alterou o teor de lignina % em 14,7%, em relação à testemunha e aos demais tratamentos, que não apresentaram diferença entre si, com exceção no trinexapaque-etílico 0,60 L ha^{-1} que foi observada redução de 12,8% em relação à testemunha. Houve redução de lignina% da avaliação de 45 para 90 DDC, quando todas as doses de trinexapaque-etílico reduziram a lignina % em 18,8% (trinexapaque-etílico 0,80 L ha^{-1}) a 34,1% (trinexapaque-etílico 1,00 L ha^{-1}), com exceção a testemunha.

Para sulfometurom-metílico, glifosato e trinexapaque-etílico nas doses comerciais não houve interação entre T e DAC ($p=0,0581$). Os tratamentos apresentaram diferenças entre as médias ($p=0,0039$), em que somente trinexapaque-etílico reduziu o teor de celulose em 19% em relação à testemunha, porém os demais tratamentos tiveram comportamento similar à testemunha. Os tratamentos apresentaram em média 14,2% de incremento de celulose% aos 90 DDC em relação a 45 DDC.

Tabela 28 - Teores de lignina (%), celulose (%) e hemicelulose (%) na rebrota da cana-soca aos 45 e 90 dias depois da colheita (DDC) sob efeito do maturador trinexapaque-etílico, aplicados aos 60 dias antes da colheita (DAC), Igarapu do Tietê/SP, 2015.

Tratamento (T)	Lignina %		Celulose %		Hemicelulose %	
	45 DDC	90 DDC	45 DDC	90 DDC	45 DDC	90 DDC
Testemunha	22,80B	21,69B	26,66A	27,69B	27,86A	29,00B
Trinexapaque-etílico 0,60L	28,15Aa	18,92Cb	21,66Bb	30,28Aa	22,35Bb	31,78Aa
Trinexapaque-etílico 0,80L	30,71Aa	24,92Ab	19,27Bb	24,68Ca	19,72Bb	25,68Ca
Trinexapaque-etílico 1,00L	29,74Aa	19,61BCb	20,18Bb	29,64ABa	20,72Bb	31,15ABa
Trinexapaque-etílico 1,20L	29,72Aa	20,09BCb	20,19Bb	29,20ABa	20,74Bb	30,65Aa
Média	28,2	21,0	21,6	28,3	22,2	29,7
p valor T x DDC	0,0015*		0,0015*		0,0014*	
CV %	7,91		7,3		7,7	

OBS: Letras maiúsculas comparam médias na vertical (Tratamentos); Letras minúsculas comparam médias na horizontal (Dias depois da colheita = DDC); ns= não significativo; * = significativo ao nível de 5% de probabilidade, CV%= coeficiente de variação.

Para o teor de hemicelulose %, quando aplicados os tratamentos de glifosato não houve interação ($P=0,7352$). Os tratamentos não apresentaram diferenças ($p=0,2153$), no entanto houve aumento de hemicelulose de 45 DDC para 90 DDC em 9,2%.

Os tratamentos de trinexapaque-etílico apresentaram interação entre T e DAC (0,0014), em que aos 45 DDC todos os tratamentos aplicados reduziram o conteúdo de hemicelulose em 19,8% a 29,2% em relação à testemunha. Para 90 DDC, trinexapaque-etílico 0,60 L ha⁻¹, 1,00 L ha⁻¹ e 1,20 L ha⁻¹ aumentaram o teor de hemicelulose em 9,6%, 7,4% e 5,7%, respectivamente, comparados à testemunha, enquanto o trinexpac etil 0,80 L reduziu a hemicelulose em 11%. Todos os tratamentos de trinexapaque-etílico apresentaram maior teor de hemicelulose % aos 90 DDC, ficando na faixa de 30,1% (trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹) a 50,3% (trinexapaque-etílico 1,00 L ha⁻¹), enquanto na testemunha não houve alteração no teor de hemicelulose % de 45 DDC para 90 DDC (Tabela 28).

Para sulfometurom metílico e os demais tratamentos em doses comerciais não houve interação entre T e DAC ($p=0,0582$). Os tratamentos, em média, apresentaram diferenças, em que trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹ reduziu a hemicelulose em 20,1%, porém os demais tratamentos foram estatisticamente similares à testemunha. As datas de avaliação apresentaram diferenças, em que houve incremento em 15,1% de hemicelulose de 45 a 90 DDC.

Em geral, quando aplicados os tratamentos de glifosato aos 60 DAC e avaliada a rebrota aos 45 e 90 DDC, não houve alteração dos componentes energéticos pelos tratamentos, no entanto houve efeito de DDC, onde houve redução em lignina e hemicelulose e aumento de celulose de 45 para 90 DDC nas variáveis analisadas. % e redução de celulose e hemicelulose aos 45 DDC, enquanto houve incremento de celulose e hemicelulose aos 90 DDC, e houve redução de lignina e incremento de celulose e hemicelulose de 45 para 90 DDC.

No caso dos tratamentos de dose recomendadas (comerciais) houve aumento de lignina com trinexapaque-etílico 0,80 L ha⁻¹ e sem alteração de celulose e hemicelulose, já no decorrer do tempo de 45 a 90 DDC, houve redução para lignina e incremento para celulose e hemicelulose.

A lignina é um composto essencial para as plantas e confere rigidez ao caule e ao tecido vascular, permitindo o crescimento em altura e a absorção de água e minerais pelo xilema sob pressão negativa, sem rompimento dos tecidos (TAIZ;

ZEIGER, 2013), indicando com isso o prejuízo pela aplicação de glifosato como efeito secundário na planta com o decorrer do tempo.

Para o caso de trinexapaque-etílico, os resultados deste estudo diferem em parte dos resultados de Siqueira (2014), em que o autor não encontrou diferenças nos tratamentos aplicados com trinexapaque-etílico para o teor de lignina, analisada aos 80 DDC, em duas safras.

Para sulfometurom-metílico, Siqueira (2014) não encontrou diferenças entre os tratamentos e a testemunha, confirmando os resultados deste estudo aos 45 e 90 DDC, mas diferindo de Meschede et al. (2012), que relatam que aos 60, 90 e 120 DDC o sulfometurom-metílico incrementou o teor de lignina em 41,7%, 53,2% e 32%, respectivamente, em relação à testemunha, indicando que sulfometurom-metílico não afeita a rota metabólica da produção de lignina.

Sob o tratamento com glifosato, Meschede et al. (2012) encontraram diferenças em relação à testemunha na dose de 200 mL ha⁻¹, aos 60, 90 e 120 DDC, mas para a dose de 400 mL não alterou o teor de lignina. Também Jasper et al. (2013) relataram que subdoses de glifosato não foram capazes de reduzir o teor de lignina aos 175 dias após o plantio, no entanto Velini et al. (2010) reportaram que a síntese de lignina por glifosato é transitória. Neste estudo as doses utilizadas de glifosato não alteraram o teor de lignina aos 45 e nem aos 90 DDC.

De acordo como Gomes et al. (2014), a sínteses de lignina deve-se ao processo de formação do aminoácido fenilalanina (Tabela 26), chave na rota de ácido chiquimico, indicando que a lignina é um importante aspecto fisiológico afetado pelo herbicida glifosato, e as plantas podem reduzir seu conteúdo deixando-as vulneráveis ao ataque de doenças e insetos, nutrição e alterações hídricas. A redução da lignina deve-se ao bloqueio da enzima EPSPs pelo glifosato, mas neste estudo não houve alteração do teor de lignina tanto aos 45 quanto aos 90 DDC, possivelmente o efeito residual não alterou o conteúdo de lignina.

No caso de celulose, alguns autores reportam alterações pela aplicação de maturadores. Siqueira (2014), aplicando sulfometurom-metílico e avaliando a rebrota aos 80 DDC, encontrou redução do teor numa safra, mas na seguinte safra os valores foram semelhantes à testemunha sem aplicação, similar a este estudo, em que aos 45 DDC houve redução, mas aos 90 DDC igualou-se à testemunha. O mesmo autor indica que para trinexapaque-etílico não houve diferenças em nenhuma safra avaliada, diferindo dos resultados deste estudo, onde houve redução de celulose com

o mesmo maturador em todas as doses aplicadas a 45 DDC e com maior incremento em doses de 1,00 L ha⁻¹ e 1,20 L ha⁻¹ a 90 DDC

Também Meschede et al. (2012), avaliando sulfometurom-metílico, determinaram os teores de celulose entre 30 a 150 DDC, encontraram alterações aos 60, 90 e 150 DDC, com aumento da celulose, diferindo dos dados deste estudo, em que aos 45 DDC houve redução, mas aos 90 DDC foi similar à testemunha. Os mesmos autores, avaliando glifosato (200 e 400 mL ha⁻¹), não encontraram alterações nas avaliações após a colheita, confirmando os dados deste estudo aos 45 DDC, mas aos 90 DDC houve aumento do teor de celulose.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação dos maturadores, independente da época, dose e produto aplicado, aumentou o conteúdo de sacarose, melhorando as características tecnológicas, e a época de aplicação de maturadores a 60 DAC promoveu as maiores alterações nas variáveis tecnológicas.

Para a utilização dos diferentes produtos com doses específicas, se deve considerar que provocará incrementos ou ganhos em função do intervalo entre aplicação e colheita, ao contrário poderia provocar prejuízos à cultura, assim como ao ciclo seguinte, provocando redução da vida média do canavial, reduzindo a rentabilidade.

6 CONCLUSÕES

Glifosato proporcionou melhor qualidade tecnológica da cana-de-açúcar em função das doses crescentes, quando comparados com outros produtos, mas, com redução no comprimento do colmo, número de perfilhos e pigmentos fotossintéticos antes e depois da colheita. Glifosato a $0,45 \text{ L ha}^{-1}$ aumentou a atividade da SAI, mas houve redução de atividade de SuSy com glifosato $1,00 \text{ L ha}^{-1}$. Doses maiores de glifosato aumentaram o poder calorífico a partir de 30 DAA. Glifosato reduziu o peso dos colmos em função da dose aplicada e dos DAC em cana-planta e, com efeito residual, em cana-soca, comprometendo o TPH. No entanto, a dose $0,35 \text{ L ha}^{-1}$ proporcionou maior TPH e TAH quando aplicada aos 45 DAC. Resíduos de glifosato permanecem depois de 60 DAA, principalmente no ponteiro, e na rebrota, houve detecção de ácido shiquimico, composto bioindicador de fitotoxicidade por glifosato.

Trinexapaque-etílico incrementou a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar à medida que aumentou a dose, mas, em menor magnitude que glifosato. Reduzindo o comprimento do colmo em cana-planta, em dose acima de $1,00 \text{ L ha}^{-1}$, em cana-soca houve redução por efeito de DAC, sem reduzir o número de perfis e aumentando o conteúdo de pigmentos fotossintéticos antes e depois da colheita, sem alteração para a atividade de SAI, mas, com redução da atividade de NI, SuSy e SPS em doses específicas. Trinexapaque-etílico $0,8 \text{ L ha}^{-1}$ aumentou o PC aos 60 DAC e provocou alteração de lignina, celulose e hemicelulose na rebrota. Houve efeito de DAC em redução de TCH, em cana-planta, e o efeito residual em cana-soca somente na época de 15 DAC. Trinexapaque-etílico em $0,60 \text{ L ha}^{-1}$ e $1,00 \text{ L ha}^{-1}$ produziu maior TPH aos 60 DAC. Resíduos do metabólito trinexapaque (ácido livre) foram quantificados na pré-colheita e rebrota.

Sulfometurom-metílico incrementou a qualidade tecnológica na mesma magnitude que trinexapaque-etílico na dose comercial. Na época de 60 DAC houve redução de comprimento do colmo em cana-planta, mas não em cana-soca, e sem reduzir os perfilhos, os pigmentos fotossintéticos foram reduzidos em menor magnitude que outros maturadores antes da colheita como na rebrota, não mudou a atividade da SAI, NI, aumentou a atividade da SPS a 60 DAA e não apresentou efeito na SuSy. O sulfometurom-metílico promoveu o maior valor de PC aos 60 DAA. Não houve redução de TCH, tanto em cana-planta quanto em cana-soca e sem redução

de TPH e TAH em todas as épocas de aplicação. Resíduos de sulfometurom-metílico foram quantificados até 45 DAA, mas não a 60 DAA e sem detecção na rebrota.

RECOMENDAÇÕES

Para a variedade RB966928, sob condições edafoclimáticas descritas, recomenda-se utilizar os maturadores glifosato na dose de 0,35 L ha⁻¹ aos 45 DAC, trinexapaquetílico em 0,6 L a 1,00 L ha⁻¹ aos 60 DAC e sulfometurom-metílico 0,02 kg ha⁻¹ de 15 a 60 DAC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACRECHE, M.M., SAEZ, J.V., VERA, J.V. Physiological bases of genetic gains in sugarcane yield in Argentina. **Field Crops Research**, v.175, p. 80–86, 2015.

ADRIANO, R.C. et al. Phenotypic and biochemical responses of sugarcane cultivars to glifosato application. **Sugar Technology**, v.15, n.2, p. 127–135, 2013.

ALMEIDA, M.B.B. **Bio-óleo a partir de pirólise rápida, térmica ou catalítica, da palha da cana-de-açúcar e seu co-processamento com gasóleo em craqueamento catalítico**. 2008. 149 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

ALMEIDA, J.C.V. et al. Eficiência agrônômica de sulfometuron methyl como maturador na cultura da cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v.21, n.3, p.36-37, 2003.

ANSARI, M.I.; YADAV, A.; LAL, R. An-Overview on invertase in sugarcane. **Bioinformation**, v.9, n.9, p. 464-465. 2013.

AQUINO, G.S. et al. **Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar sob quantidades de palhada**. In: VI SIMPÓSIO TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR. Universidade de São Paulo - Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 6. Ed. (2013), Piracicaba, Piracicaba: GAPE, (2013), p. 51-58.

AQUINO, G.S. et al. **Qualidade industrial e produção de cana-de-açúcar sob quantidades de palhada**. In: SIMPÓSIO TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR. Universidade de São Paulo - Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 6. Ed., (2013), Piracicaba, Piracicaba: GAPE, (2013), p. 59-66.

ARAÚJO, R. et al. Variação na qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar em decorrência da suspensão da irrigação antes da colheita e da ocorrência de baixas temperaturas. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 1, p.118-127, 2016.

AYELE, N. et al. Challenges of Ripening of Sugarcane at Tendaho, Metahara and Wonji-Shoa Sugar Estates. **International Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources**, v.2, n. 1, p. 14-18, 2015.

AZANIA, C.M. et al. The use of glifosato in sugarcane: A Brazilian experience. In: PRICE, A.J.; KELTON, J.A. **Herbicides - Current Research and Case Studies in Use**. 1. ed. Atual. EUA: InTech, 2013, v. 1, cap. 7, p. 153-174.

BARBOSA, F. S. **Produtividade de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento: interações entre variedades, lâminas e intensidades de déficit hídrico na fase de maturação**. 2015. 178 f. Tese (Doutor em ciências/Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

BATTA, S.K. et al. Sucrose Accumulation and Internodal Soluble Invertase Isoenzymes in Plant and Ratoon Crops of Sugarcane. **Sugar Technology**, v. 13, n. 1, p. 51-59, Jan. /Mar. 2011.

BHATIA, S. et al. Partial Purification and Characterization of Acid Invertase from the Fresh and Stale Sugarcane Juice. **Sugar Technology**, v. 14, n. 2, p. 148–155, Apr. /Jun. 2012.

BELZ, R.G., DUKE SO. Herbicides and plant hormones. **Pest Management Science**, v.70, p. 698-707, 2014.

BERNARDES, M. S. Fotossíntese no dossel das plantas cultivadas. In: CASTRO, P. R. C. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p. 13-48.

BERTOZZO, F. et al. Aproveitamento do palhiço de cana-de-açúcar para geração de energia renovável. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 2, 2011, Foz do Iguaçu. **(Potencyal energy of the components of the straw of sugar cane**. 2011: Foz de Iguaçu, 2011, p. 1-5.

BLANCO, K.M. et al. **Caracterização e uso do palhiço da cana-de açúcar para cogeração de energia**. In: 7º CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 7, 2012, São Paulo, 6 p.

BRADFORD, M. M. A dye binding assay for protein. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248-254, 1976.

BRUNELLI, M. C. **Índice SPAD e trocas gasosas ao longo do dia para diferenciação de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica**. 2014. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia /Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

BULL, T.A.; GLASZIOU, K.T. The evolutionary significance of sugar accumulation in *Saccharum*. **Australian Journal Biology Science**, v.16, p. 737-742, 1963.

BURTON, J.D.; BALKE, N. E. Glifosato uptake by suspension-cultured potato (*Solanum tuberosum* and *S. brevidens*) cells. **Weed Science**, v.36, p. 146–153. 2012.

CAKMAK, I. et al. Glifosato reduced seed and leaf concentrations of calcium, manganese, magnesium, and iron in non glifosato resistant soybean. **European Journal of Agronomy**, v.31, p. 114–119, 2009.

CAPUTO, M.M. et al. Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, v. 67, n.1, p.15-23, jan. 2008.

CAPUTO, M.M. et al. Acúmulo de sacarose, produtividade e florescimento de cana-de-açúcar sob reguladores vegetais. **Interciencia**, v. 32, n. 12, p. 834-840, Dez. 2007.

CARBONARI, C.A. et al. Glifosato Effects on Sugarcane Metabolism and Growth. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, p. 3585-3593, 2014.

CARBONARI, et al. Alterações metabólicas de cana-de-açúcar após a aplicação de glifosato como maturador. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GLIFOSATO, USO SUSTENTÁVEL, 3, 2011, Botucatu. **Trabalhos científicos**, Botucatu: FEPAF, (2011). p.101-103.

CARDOZO N.P.; SENTELHAS P.C. Climatic effects on sugarcane ripening under the influence of cultivars and crop age. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 6, p. 449-456, 2013.

CARDOZO, N.P. et al. Modeling sugarcane ripening as a function of accumulated rainfall in Southern Brazil. **International Journal of Biometeorology**, (cidade de publicação), v. 59, n. 12, p. 1913-1925, dez. 2015.

CARVALHO, D. M. **Caracterização físico-química e polpação etanol/soda do bagaço e da palha de cana-de-açúcar**. 2012. 150 f. Dissertação de mestrado em ciência florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2012.

CARSON, D.L.; F.C. BOTHA. Genes expressed in sugarcane maturing internodal tissue. **Plant Cell Reporters**, v. 20, p. 1075–1081, 2002.

CASTRO, P.R.C. et al. Ação comparada de Ethrel, Fuzilade e glifosato, em duas épocas de aplicação, na maturação e produtividade da cana-de-açúcar, variedade SP 70-1143. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 77, n. 1, p. 23-38, 2002.

CASTRO, P. R. C. et al. Efeito do Etefon na maturação e produtividade da cana-de-açúcar. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 76, n. 2, p. 277-290, 2001.

CASTRO E. B. et al. Absorption, translocation and metabolic effects of glifosato by Eucalyptus plants. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 111, p. 719-727, set. 2016.

CASTRO, P. R. C.; OLIVEIRA D. A.; PANINI E. L. Ação do sulfometuron-metil como maturador da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS DE ALCOOLEIROS DO BRASIL, 6, 1996, Maceió. **Anais... Maceió: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, Piracaba: STAB**, 1996. p. 363-369.

CASTRO, P.R.C. Maturadores químicos em cana-de-açúcar. **Saccharum**, v.1, p.12-16, 1999.

LAGO, A.C.; BONOMI, A.; CAVALLETT, O.; CUNHA, M.P.; LIMA, M.A. Sugarcane as a carbon source: The Brazilian case. **Biomass and Bioenergy**. v.46, p. 5-12, 2012.

CESARIN, A.E. **Efeito de maturadores sobre a germinação e crescimento inicial de corda-de-viola**. 2014. 42 f. Dissertação de mestrado em produção vegetal - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jabocatibal, 2014.

CHANDRA, A.; JAIN, R.; SOLOMON, S. Complexities of invertases controlling sucrose accumulation and retention in sugarcane. **Current Science**, v. 102, n. 6, p 857-866, mar. 2012.

CRISTOFOLETTI JUNIOR, S. C. **Fisiologia da emergência e perfilhamento em mini-toletes de variedades de cana-de-açúcar**. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

CONSECANA. **Manual de Instruções**. Piracicaba: Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, 5. Ed., 2006, 111 p.

CONSECANA. **Manual de Instruções**. Piracicaba: Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, 4 eds., 1999, 115 p.

CORREIA, N. M.; LEITE, G. J. Selectivity of the plant growth regulators trinexapac-ethyl and sulfometuron-methyl to cultivated species. **Scientia Agricola**, v. 69, n. 3, p. 194-200, 2012.

CTC. **Centro de Tecnologia Canavieira**. Disponível em: <<http://www.ctcanavieira.com.br/biomassa.html>>. Acesso em: 20 maio. 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira Cana-de-Açúcar Safra 2015/2016**, n. 4. Quarto levantamento, abril/2016. Brasília, 2016. p.1-76. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: Maio 2016.

CHEN, Z. L. et al. Isolation and Expression Analysis of Sucrose Synthase Gene (ScSuSy4) from Sugarcane. **Sugar Technology**, v.18 n. 2, p. 134-140, Jul. 2016.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Response of Application of Growth Inhibitors on Sugarcane Productivity and Sucrose Accumulation in the Middle of Cropping Season in Brazil. **Sugar Technology**, v.19, n. 2, p.155-164, maio, 2016.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. **Uso de maturadores com ou sem misturas**. Tópicos em eco fisiologia da cana-da-açúcar. Botucatu: FEPAF, 2010, 111 p.

DALLEY, C. D.; RICHARD, JUNIOR. E.P. Herbicides as ripeners for sugarcane. **Weed Science**, v. 58. p. 329–333, 2010.

DAROS, E. et al. **Liberção nacional de novas variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Rede Interuniversitária para o desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. RIDESA. 64 p., 2010. Disponível em: <http://canaufv.com.br/pdf_cultivares/liberacao.pdf>. Acesso em: 12 maio 2014.

DEUBER, R. (1988). Maturação da cana-de-açúcar na região sudeste do Brasil. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA COPERSUCAR, 1988. **Proceedings of 4th Seminário de Tecnologia COPERSUCAR**, Piracicaba: Cpersucar, 1988, p. 33-40.

DI BELLA, L.P., RIXON, C., ARMYTAGE, P., DAVIES, B., DORAHY, K., WOOD, A.W. AND SHEEDY, P. The 2006 Herbert Moddus® pilot program. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**, v. 29, p. 368 – 376, 2007.

DILLEWIJN, C. Botany of sugar cane. Walthen: **Chronica Botanica**, p.136-141, 1952

DUKE, S.O. Glifosato metabolism in plants. In: VELINI, et al. **Glifosato, uso sustentável**. 1ª Ed. Botucatu: FEPAF, 2012, p.17-38.

DUKE S.O. et al. Hormesis: is it an important factor in herbicide use and allelopathy? **Outlooks on Pest Management**, v. 17, p. 29–33, 2006.

DUKE, S. O.; POWLES, S. B. Glifosato: a once in a century herbicide. **Pest Management Science**, v. 64, p. 319–325, 2008.

DUSKY, J. A. et al. Response of eight sugarcane cultivars to glyphosine and glifosato ripeners. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.4, p. 225–235, 1986.

EASTWOOD, D.; DAVIS, H.D. Chemical ripening in Guyana—progress and prospects. **Sugar Cane**, v.3, p. 4–17, 1997.

EGGLESTON, G.; VIATOR, R.; GRISHAM, M. Glyphosate ripener effects on the processing quality of different sugarcane tissues. **Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technology**, v.26, p.1460-1467, 2007.

Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 2006, 412 p.

ESCHRICH W. **Free Space Invertase, its Possible Role in Phloem Unloading**. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft. v.93, n.1, p. 363–378, Out. 1980.

ERVIN, E. H.; KOSKI, A. J. Trinexapac-ethyl increases Kentucky bluegrass leaf cell density and chlorophyll concentration. **HortScience**, v. 36, n. 4, p. 787-789, 2001.

ESPINOZA, J.G. Maduración de la caña de azúcar y floración de la caña de azúcar y su manejo. In: MELGAR, M. et al. **El cultivo de la Caña de Azúcar En Guatemala**. 1 ed. Guatemala. Editorial Artemis Edinter, 2012. Centro de investigación de la caña de azúcar (CENGICAÑA). Cap. XI, 2012. p. 262-281.

FAVA, A.R. Atletas ingerem garapa para repor energia. **Jornal da UNICAMP**, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, p. 8, 3 a 9 maio, 2004.

FERNANDES, A.C. Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar. Piracicaba: **STAB**, 240 p. 2003.

FERNANDES, A.C.; STUPIELLO, J.P.; UCHOA, P.E. de A. Utilização do Curavial para melhoria da qualidade da cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v.20, n.4, p.43-46, 2002.

FEDTKE, K.; DUKE, S. Herbicides. In: Hock, B.; Elstner E. **Plant toxicology**. New York: Marcel Dekker, p. 247–330, 2005.

FERNANDES, A.C. **Refratômetro de campo**. Boletim Técnico Coopersucar, v.19, p. 5-12, jul. 1982.

FERNANDES, A.C. Autorização da colheita da cana-de-açúcar. In: SEMANA DE FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA “JAIME ROCHA DE ALMEIDA”, 1985, Piracicaba. **Anais...Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, USP, p.12-21, 1985

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION FAO/WHO. Pesticides residues in food. In: FAO: **Plant production and protection**, Rome, n. 183, 358 p., 2005. Disponível em: <<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0209e/A0209E01.pdf>> Acesso em: 20 maio, 2014.

FRANZÉ, R.V. **Qualidade tecnológica e teores de nutrientes da cana-de-açúcar sob efeito de maturadores**. 2010. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia /Produção Vegetal) -Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual

Paulista, Jaboticabal, 2010. Disponível em: <<http://www.fcav.unesp.br/download/pgtrabs/pv/m/78289.pdf>>. Acesso em 12 maio 2014.

FRANCO, H. C. J. et al. Assessment of sugarcane trash for agronomic and energy purposes in Brazil. **Scientia Agricola**, v.70, n.5, p. 305-312, Set./Out. 2013.

FURLANI, R.P.Z. et al. Analysis of pesticide residues in sugarcane juice using QuEChERS sample preparation and gas chromatography with electron capture detection. **Food Chemistry**, v.126, p. 1283–1287, 2011.

GALDIANO, L. C. **Qualidade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) submetida à aplicação de maturadores químicos**. 2008. 45 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2008.

GALDIANO, L. C. **Efeito residual da aplicação de maturadores químicos na cultura da cana-de-açúcar**. 2013. 39 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

GHELLER, A.C.A.; NASCIMENTO, R. do. Resultados da aplicação de maturadores vegetais em cana-de-açúcar, variedades RB72454 e RB 835486 na região de Araras, SP. 4ª Jornada Científica e IX Congresso de Iniciação Científica da UFSCar. **Resumos...** Universidade federal de São Carlos, Araras, SP, 2001.

GIBEAUT, D.M. Nucleotide sugars and glycosyltransferases for synthesis of cell wall matrix polysaccharides. **Plant Physiology Biochemical**, v 38, n.1–2, p 69–80, 2000.

GOMATHI, R. et al. Physiological Studies on Ratoonability of Sugarcane Varieties under Tropical Indian Condition. **American Journal of Plant Sciences**, v. 4, p. 274-281, 2013.

GOMES, M.P. et al. Alteration of plant physiology by glifosato and its by-product aminomethylphosphonic acid: an overview. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 17, p 4691–4703, 2014.

GOMES, L. G. C. **Alterações metabólicas de plantas de milho submetidas à aplicação de glifosato e fosfito**. 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia /Proteção de plantas) -Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

GOMES, L. G. C. et al. Extraction and simultaneous determination of glifosato, AMPA and compounds of the Shikimic acid pathway in plants. **Planta daninha**, Viçosa-MG, v.33, n.2, p.295-304, 2015.

GOUGLER, J. A.; GEIGER, D. R. Uptake and distribution of N-phosphonomethylglycine in sugar beet plants. **Plant Physiology**, v. 68, p. 668–672, 1981.

GOUY, M. et al. Site and *Saccharum spontaneum* introgression level drive sugarcane yield component traits and their impact on sucrose yield in contrast radiation and thermal conditions in La Réunion. **Field Crops Research**, v.171, p. 99–108, 2015.

GROF, C. P. L. et al. Sucrose-phosphate synthase, a biochemical marker of high sucrose accumulation in sugarcane. **Crop Science**, Hoboken, v. 47, p. 1530-1539, 2007.

GROFT, B. J.; MAGNANINI, A. Chemical control of sugarcane vertical growth to improve the quality of seed cane. **Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technology**, v. 28, p. 241-251, 2006.

GRUYS, K. J.; SIKORSKI, J. A. Inhibitors of tryptophan, phenylalanine and tyrosine biosynthesis as herbicides. In: SINGH, B. K. **Plant amino acids: biochemistry and biotechnology**. New York: Marcel Dekker, p. 357-384, 1999.

GUIMARÃES, E. R. et al. Crescimento, acúmulo de sacarose e atividade de invertases em cana-de-açúcar submetida ao tratamento com etil-trinexapac. **Científica**, Jaboticabal, v.33, n.1, p. 20-26, 2005.

HENZE, R. M.; STRY, J. J. Analytical method for the determination of sulfometuron methyl and metabolite in sugars cane and sugar cane processing fractions Using LC/MC/MS. **Perfoming Laboratory**, E.I. Du pont de Nemours and Company. DuPont Crop Protection, Global Technology Division. Stine-Haskell Research Center, Newark, Delaware, pp. 60, (Confidential), 2016.

HAGOS, H.; WORKU, W.; TAKELE, A. Effect of Drying Off Period and Harvest Age on Quality and Yield of Ratoon Cane (*Saccharium officinarium* L.). **Adv. Crop Science Technology**, v. 2, n. 3, p. 1-5, 2014.

HILTON, H. W, et al. Some patterns of herbicide and growth regulator intake, persistence, and distribution in sugarcane. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 4, n. 1, p. 385-394, 1976.

HIEMSTRA M.; DE KOK, A. Determination of Trinexapac in Wheat by Liquid Chromatography–Electrospray Ionization Tandem Mass Spectrometry. **Journal Agriculture Food Chemical**, v. 51, n. 20, p 5855–5860, 2003.

HAYAMICHI, Y. Translocation of 14 C-glifosato after foliar application in sugarcane fields. **Journal. Tropical. Agricultura**, v. 35, n.4, p. 278–282, 1991.

HAYAMICHI, Y. The Effects of Cyclohexandione on the Growth and Ripening of Sugarcane: A Comparison with Glifosato. **Japanese. Journal. Tropical. Agricultura**, v.34, no. 4, p. 278–282, 1990.

HOIA, L. W. S e MARTINCIGHA, B. S. Sugar cane plant fibres: Separation and characterization. **Industrial Crops and Products**. v. 47, p. 1– 12, 2013.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, Australia, v. 89, p. 107–122, 2004.

INMAN-BAMBER, N. G. et al. Efficient use of water resources in sugar production: A Physiological basis for crop response to water supply. **Sugar Research and Development Corporation**, Australia. p. 1-33. 1999.

INOUE, M. H. et al. Eficiência do bispyribac-sodium como maturador na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, Ceara, v. 46, n. 1, p. 80-88, jan. /mar. 2015.

JAIN, R.; CHANDRA, A.; SOLOMON, S. Impact of Exogenously Applied Enzymes Effectors on Sucrose Metabolizing Enzymes (SPS, SS and SAI) and Sucrose Content in Sugarcane. **Sugar Technology**, v. 15, n. 15, p. 370-378, Out. /Dez. 2013.

JAIN, R.; CHANDRA, A.; SOLOMON, S. Modulating expression of SAI gene in relation to sucrose content using enzyme effectors in sugarcane. In: Xth AGRICULTURAL SCIENCE CONGRESS, 10, 2011, Lucknow. **Abstr.** Lucknow: NBFGR, 2011.

JAIN, R; SHUKLA, S, P; SHRIVASTAVA, A, K; Leaf composition during early growth and ripening in sugarcane (*Saccharum* spp. Hibryds). **Indian Journal Plant Physiology**, v.4, n.19, p. 52-54, Jan. /Mar. 1999.

JENKINS, B.; EBELING, J. M. Thermochemical properties of biomass. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v. 54, p. 17-46, 1998.

JUTAKANOKI, R. et al. Sugarcane leaves: pretreatment and ethanol fermentation by *Saccharomyces cerevisiae*. **Biomass Bioenergy**, v. 39, p. 283-289, 2012.

KARMOLLACHAAB, A. et al. Sugarcane yield and technological ripening responses to chemical ripeners. **Sugar Technology**, p. 1-7, 2015.

KING, C. A.; PURCELL, L. C.; VORIES, E. D. Plant growth and nitrogenase activity of glifosato-tolerant soybean in response to foliar glifosato applications. **Agronomy Journal**, n. 93, p. 179–186, 2001.

KINGSTON, G.; RIXON, C. M. Ripening responses of twelve sugarcane cultivars to Moddus R - (Trinexapac Ethyl). **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**, v. 29, p. 328–338, 2007.

KIYOTA, E.; MAZZAFERA, P.; SAWAYA, A. C. H. F. Analysis of soluble lignin in sugarcane by ultrahigh performance liquid chromatography–tandem mass spectrometry with a do-it-yourself oligomer database. **Analytical Chemistry**, v. 84, p. 7015–7020, 2012.

KLETER G. A.; UNSWORTH, J. B.; HARRIS C. A. The impact of altered herbicide residues in transgenic herbicide-resistant crops on standard setting for herbicide residues. **Pesticide Management Science**, v. 67, n. 10, p. 1193–1210, 2011.

LANES, E. C. M. Comparação de metodologias para determinação da concentração de fibra em detergente ácido em silagens de milho. In: SEMANA DE BIOLOGIA, 29, MOSTRA DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, Juiz de Fora. **Anais**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2006. 12 p.

LAKSHMANAN, P. et al. In Vitro Cellular & Developmental Biology. **Plant**, v. 41, n. 4, p. 345-363, 2005.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 531 p, 2004.

LAVANHOLI, M. DAS G. D. P. et al. Aplicação de ethephon e imazapyr em cana-de-açúcar em diferentes épocas e sua influência no florescimento, acidez do caldo e teores de açúcares nos colmos – variedade SP 70-1143. **Revista STAB**, Piracicaba, v. 20, p. 42-45, 2002.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophyll and carotenoids, the pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods Enzymol.** v. 148, p. 331-382, 1987.

LEGENDRE, B. L. et al. Efficacy of Polado, Arsenal and Fusilade as chemical ripeners for Louisiana. **Sugarcane Annual Progress Report**. Louisiana State University Agricultural Center, Baton Rouge, LA. 2002.

LEE T. T.; DUMAS T. Effect of glifosato on indole-3-acetic acid metabolism in tolerant and susceptible plants. **Journal Plant Growth Regulation**, v. 4, p. 29-39, 1985.

LEITE, G. H. P. et al. Plant regulators and invertase activity in sugarcane at the beginning of the harvest season. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 10, p. 1788-1794, out. 2015.

LEITE, G. H. P. et al. Atividade das enzimas invertases e acúmulo de sacarose em cana-de-açúcar sob efeito do nitrato de potássio, etefon e etil-trinexapac. **Ciência e Agrotecnologica**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 649-656, 2011.

LEITE, G. H. P. **Maturadores associados à boro e silício aplicados via foliar em cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.)**. 2010. 26 f. Tese (Doutor em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

LEITE, G. H. P. et al. 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. 2009.

LEITE, G. H. P. et al. Reguladores Vegetais e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar em meio de safra. **Ciência e agrotecnologica**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1843-1850, nov. /dez. 2008.

LEITE, G. H. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Reguladores vegetais no desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 995-1001, 2008.

LEITE, G. H. P. **Maturação induzida, alterações fisiológicas, produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)**. 2005. 141 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

LIZCANO, J. V. **Poder calorífico, energia e cinzas da biomassa de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento para diferentes variedades, lâminas e processo de**

maturação. 2015. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências, Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2015.

LI, Y. R.; MAWULI, A. K.; AXIAL LIN, Y. K. The effects of sole glifosato and/or adding nutrients as chemical ripeners in sugarcane under drought condition. **Acta Agricultura Sinica**, Holanda, v. 26, n. 6, p. 692-698, 2000.

LI, Y. R. et al. Sugarcane ripening trials with glifosato borate complex in commercial plantation of Shansi County, China using micro-light aircraft. In: **Proc. Internl. Syrup on Sustainable Sugarcane & Sugar Production Technol.**, Nanning, P.R.China (Eds. Yang-Rui Li and S. Solomon), China Agricultural Press, Beijing, p.560-563, 2004.

LIANG, X. et al. The 1-aminociclopropane-1-carboxilate synthase genmne family of Arabidopsis thaliana. **Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America**, v. 89, n. 22, p. 11046-11050, Nov. 1992.

LYDON, J.; DUKE, S. O. Pesticide effects on secondary metabolism of higher plants. **Pest Management Science**, v. 25, n. 4, p. 361-373, 1989.

LINGLE, S. E. Sugar metabolism during growth and development in sugarcane internodes. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 480-486, 1999.

LONG, S. P.; HUMPHRIES. S.; FALKOWSKI, P. G. Photoinhibition of photosynthesis in nature. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 45, p. 633-662, 1994.

MAIA, M. S; SILVA, A. B.; MIRANDA, J. M. Etil-trinexapac na maturação da cana-de-açúcar. **STAB**. Piracicaba, v. 31, n. 4, p. 28-31, mar. /abr. 2013.

MATALLO, M. B. et al. Glifosato as a tool to produce shikimic acid in plants. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 32, n. 3, p. 601-608, 2014.

MATALLO, M. B. et al. Microwaved assisted solvent extraction and analysis of shikimic acid from plant tissues. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 27, p. 987-994, 2009.

MARCH, S. R.; MARTINS, D.; McELROY, J. S. Growth inhibitors in turfgrass. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 31, n. 3, p. 733-747, 2013.

MARSH, H. V.; EVANS, H. J.; MATRONE, G. Investigations of the role of iron in chlorophyll metabolism. II. Effect of iron deficiency on chlorophyll synthesis. **Plant Physiology**, v. 38, p. 638-642. 1963.

MARQUES, T. A.; PINTO, L. E. V. Energia da biomassa de cana-de-açúcar sob influência de hidrogel, cobertura vegetal e profundidade de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 17, n. 6, p. 680-685, 2013.

MARQUES T. A. et al. Glifosato como maturador durante a safra canavieira. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v. 4, n. 3, p. 83-94, 2011.

MESCHEDE, D. K. **Efeito do glifosato e sulfometuron-metil na fisiologia da cana-de-açúcar**. 2009. 137 f. Tese (Doutor em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

MESCHEDE et al. Ação de diferentes maturadores na produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina – Paraná, v. 8, n. 2, p. 62-67, mai. /ago. 2009

MESCHEDE, D. K.; VELINI, E. D.; CARBONARI, C. A. Efeitos do glifosato e sulfometuron-methyl no crescimento e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **Planta daninha**, Viçosa, v. 28, p. 1135-1141, 2010.

MESCHEDE, D. K. et al. Teores de lignina e celulose em plantas de cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 30, n. 1, p. 121-127, 2012.

MILLHOLLON, R. W.; LEGENDRE, B. L. Sugarcane yield as affected by annual glifosato ripener treatments. **Proc. Am. Soc. Sugar Cane Technology**, v. 16, p. 7–16, 1996.

MORGAN, T. et al. Chemical ripeners increase early season sugar content in a range of sugarcane varieties. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 58, p. 233–241, 2007.

MONQUERO, P. A. et al. Absorção, translocação e metabolismo do glifosato por plantas tolerantes e suscetíveis a este herbicida. **Planta Daninha**. Viçosa-MG, v. 22, p. 445–451, 2004.

McCORMICK, A. J.; CRAMER, M. D.; WATT, D. A. **Field Crops Research**, v. 108, p. 250–258, 2008.

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 em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 1984.

NELSON, N. A fotometric adaptation of somogyi method for determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, v. 153, p. 375-380, 1944.

NEME, L. M. F. et al. Avances en la maduración química en Tucumán-R. Argentina. **Revista industrial y agrícola de Tucumán**. Tucuman, v. 90, n. 1, p. 57-9, 2013.

NETTO, J. M. Maturadores e reguladores vegetais na cultura da cana-de-açúcar. In: EGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E; NÓBREGA, J. C. M. (Org.). ATUALIZAÇÃO EM PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR. Piracicaba: CP 2, 2006. p.307-318. **Science of the Total Environment**, v. 443, p. 573–581, 2006.

NOMURA, N.; HAYAMICHI, Y.; HILTON, W. H. Some physiological effects from glifosato applied to sugarcane foliage. **ISSCT Proceeding XIX**, v. 1, p. 284-297, 1986.

OLIVEIRA, D. A. **Relatório de pesquisa com Sulfometurom Metil em ensaios preliminares**. Campinas, 23 p. 1992.

OLIVEIRA, M. G. et al. Degradação da palhada de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 803-809, 1999.

OLIVEIRA FILHO, P. B. et al. Chemical ripeners and different harvest periods in sugarcane in State of Paraná, southern Brazil, **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3904-3913, set. 2016.

ORGERON, A. J. et al. On-farm evaluation of trinexapac-ethyl for early season sucrose enhancement. **Journal of American Society of Sugar Cane Technologists**, v. 36, p. 1-8, 2016.

ORGERON, A. J. et al. Trinexapac-ethyl: will it increase early season sugar accumulation? **Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technology**, v. 28, p. 1-11, 2013.

ORGERON, A. J. **Sugarcane growth, sucrose content, and yield response to the ripener's glifosato and trinexapac-ethyl**. 2012. 66 f. These (Doctor of Philosophy/Plant, Environmental, and Soil Sciences) - Agricultural and Mechanical College, Faculty of the Louisiana State University. Louisiana, EUA. 2012.

ORGERON, A. J. et al. Trinexapac-Ethyl: An Alternative to Glifosato as a Sugarcane. **Journal American Society of Sugar Cane Technologists**, v. 31, p. 55, 2011.

PATANE, P.; VIBHUTE, A. Chlorophyll and Nitrogen Estimation Techniques: A Review. **International Journal of Engineering Research and Reviews**. v. 2, n. 4, p. 33-41, out. /dez. 2014.

PAOLIELLO, J. M. **Aspectos ambientais e potencial energético no aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira**. 2006. 200 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista. Bauru, SP, 2006.

PELLEGRINI, M. C. **Inserção de centrais cogeneradoras de bagaço de cana no parque energético no estado de São Paulo: exemplo de aplicação de metodologia para análise dos aspectos locacionais e de integração energética**. 2002. 168 f. Dissertação (Mestrado em energia) – Universidade de São Paulo. São Paulo. 2002.

PONTIN, J. C. Avaliação de maturadores vegetais na cana-de-açúcar. **Álcool e Açúcar**, Piracicaba, n. 77, p. 16-18, 1995.

QUEIROGA, C. L. **Analísadores de massa: QTRAP**. In: Espectrometria de massas: princípios e aplicações. Disponível em: <<http://www.espectrometriademassas.com.br/capitulos/>> Acesso em: 05 janeiro. 2014.

RADHAMANI, R.; KANNAN, R.; RAKKIYAPPAN, P. Leaf Chlorophyll Meter Readings as an Indicator for Sugarcane Yield under Iron Deficient Typic Haplustert. **Sugar Technology**, v.18, n. 1, p. 61-66, 2015.

RESENDE, P. A. et al. Moddus®, a plant growth regulator and management tool for sugarcane in Brazil. **Sugar Cane International**, v. 4, p. 5-9, 2000.

RIDESA/UFSCAR, Roberto Chapola. Censo Varietal 2015, GRANDE ENCONTRO DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR, 9, 2015, Ribeirão Preto. **Censo vareital, 2015**, Ribeirão Preto: Grupo IDEIA. Setembro, 2015.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Barros & Marques Ed. Eletrônica, 2004, 302 p.

RIZZARDI, M. A.; KARAM, D.; MICHELLE, B. C. Manejo e Controle de plantas daninhas em milho e sorgo. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. (Ed.). **Manual de manejo e Controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004, p. 571-594.

RIXON, C. M. et al. Moddus®- a sugar enhancer. **Proc. Aust. Soc. Sugarcane Technology**, n. 29, p. 318–327, 2007.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: UNESP, 1995, 75 p.

RODRÍGUEZ-ZÚÑIGA, U.F. et al. Fast Determination of the Composition of Pretreated Sugarcane Bagasse Using Near-Infrared Spectroscopy. **Bioenergy Research**, v. 7, p. 1441–1453, 2014.

ROMERO, E.R. et al. Maduración química de los cañaverales: criterios y recomendaciones para implementar un programa de manejo. **Av. Agroindustrial**, Argentina, v. 24, n. 1, p.10-14, 2003.

SACHDEVA, M.; BHATIA S.; E BATTA, S. K. Sucrose accumulation in sugarcane: a potential target for crop improvement. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, n. 5, p. 1571-83. 2011.

SALMIRAS, D. Glifosato Toxicology. In: VELINI, et al. **Glifosato, Uso sustentável**. 1ª Ed. Botucatu: Editora FEPAF, 2012. Cap. 05, p.79-88.

SALES, C. R. G. et al. Photosynthetic and antioxidant responses to drought during the sugarcane ripening. **Photosynthetica**, v. 53, n. 4, p. 547–554, Dez. 2015.

SAMPAIO, M. et al. Determination of pesticide residues in sugarcane honey by QuEChERS and liquid chromatography. **Journal of Brazilian Chemical Society**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 197-205, 2012.

SAMPAIO, M. et al. A method for the determination of multiclass pesticides in sugarcane juice employing QuEChERS and LC-ESI-MS/MS. **Analytical Methods**, v. 5, p. 2028-2033, 2013.

SATCHIVI, N.M. et al. Absorption and translocation of glifosato isopropylamine and trimethylsulfonium salts in *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi*. **Weed Science**, Colorado, EE.UU, v. 48, p. 675–679, 200.

SANT'ANNA, C. et al. Sugarcane Cell Wall Structure and Lignin Distribution Investigated by Confocal and Electron Microscopy. **Microscopy research and technique**, v. 76, p. 829–834, 2013.

SANTOS, C. M. et al. Physiological Changes Associated with Antioxidant Enzymes in Response to Sugarcane Tolerance to Water Deficit and Rehydration. *Sugar Technology*. **Sugar Technology**, v. 17, n. 3, p. 291-304, Set. 2015.

SANTOS, M. L. et al. Estudo das condições de estocagem do bagaço de cana-de-açúcar por análise térmica. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, n. 3, p. 507-511, 2011.

SHARMA, S.; SINGH, B. Persistence of imidacloprid and its major metabolites in sugarcane leaves and juice following its soil application. **International Journal Environmental Analytical Chemistry**, v. 94, n. 4, p. 319-331, 2013.

SHONGWE B. Chemical ripener recommendations. The Swaziland Sugar Association Technical Services (SSATS) **Extension Newsletter**, Quarter, n. 48, p. 2, 2011. Disponível em: <<http://www.ssa.co.sz>> Acesso: 05 Jan. 2014.

SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. Sugarcane maturity estimation through edaphic-climatic parameters. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, p. 486-491, 2004.

SIQUEIRA, G.F. **Eficácia da mistura de glifosato a outros maturadores na cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2009.

SIQUEIRA, G.F. **Aplicação de boro e maturadores na pré-colheita da cana-de-açúcar em início e final de safra**. 2014. 139 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2014.

SILVA, M. A. et al. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, RJ, v. 19, p. 193-201, 2007.

SILVA, M. A. et al. Pigmentos fotossintéticos e índice Spad como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 30, n. 1, p. 173-181, jan. /fev. 2014.

SILVA, D. P. **Thiametoxam em cana-de-açúcar manejada com maturadores**. 2012. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

SILVA, M. A.; CAPUTO M. M. Ripening and the use of ripeners for better sugarcane management. In: MARIN, F.R. **Crop Management – Cases and Tools for Higher Yield and Sustainability**. p. 1-23. Fev. 2012. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/crop-management-cases-and-tools-for-higher-yield-and-sustainability/ripening-and-use-of-ripeners-for-better-sugarcane-management>> Acesso: 14 jan. 2014.

SILVA, M. B.; MORAIS, A. S. Avaliação energética do bagaço de cana em diferentes níveis de umidade e graus de compactação. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXVIII, 2008, Rio de Janeiro. **A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura Sustentável**. Rio Janeiro: Enegep, 2008. p.1-9. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STP_077_543_11289.pdf> Acesso em: 12 maio 2014.

SILVA, C. P.; TEIXEIRA, D. G.; PONTES, L. A. Queima Da Palha De Cana-De-Açúcar: O Impacto Ambiental E As Novas Tecnologias Para Produção De Etanol De Segunda Geração. 8º CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA SÃO PAULO, 2013, São Paulo. **Queima Da Palha De Cana-De-Açúcar: O Impacto Ambiental E As Novas Tecnologias Para Produção De Etanol De Segunda Geração**, São Paulo: Biomass, 2013.

SOLOMON, S. et al. Chemical ripening of sugarcane: sucrose enhancing response of dinitrosocifrol and traicotanol. **Sugar Tech.**, India, v. 3, n. 1 e 2, p. 53-54, 2001.

SOLOMON, S.; LI, Y. R. Chemical Ripening of Sugarcane: Global Progress and Recent Developments in China. **Sugar Technology**, v. 6, n. 4. P. 241 – 249. 2004.

SOMOGYI, M. A new reagent for the determination of sugars. **J. Biol. Chemical**, v. 160, p. 61-88, 1945.

SOMOGYI, M. Notes on sugar determination. **J. Biol. Chemical**, v. 195, p. 19-23, 1952.

SMITH, E. A.; OEHME, F.W. The biological activity of glifosato to plants and animals: a literature review. **Veterinarian Human Toxicology**, v. 34, p. 531–544, 1992.

STREIT, N. M. et al. As clorofilas. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 748-755, Jun, 2005.

MARQUES, T. A.; PINTO, L. E. V. Energia da biomassa de cana-de-açúcar sob influência de hidrogel, cobertura vegetal e profundidade de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina grande, PB, v. 17, n. 6, p. 680–685, 2013.

TANIMOTO, T. The press method of cane analysis. **Hawaiian Planter's Record**, v. 57, p. 133-150, 1964.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5º ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TEIXEIRA, E. B. et al. Glifosate como maturador de cana-de-açúcar na Variedade RB835486 em ambientes desfavoráveis: Avaliação técnica e econômica. VII WORKSHOP DE AGROENERGIA, VII, 2013, Riberão Preto, SP. **Glifosate como maturador de cana-de-açúcar na Variedade RB835486 em ambientes desfavoráveis: Avaliação técnica e econômica**. Riberão Preto, SP: Infobibos, 2013. p. 1-5.

TYMOWSKA-LALANNE, Z.; KREIS, M. The plant invertases: physiology, biochemistry and molecular biology. **Advances in Botanical Research**, London, v. 28, p. 71-117, 1998.

TORRES NETTO, A. et al. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, v. 104, p. 99–2009, 2005.

YAMADA, T.; CASTRO, P. R. C. Efeitos do glifosato nas plantas: Implicações fisiológicas e agronômicas, **Informações Agronômicas**, n. 119, 2007, p. 1-32.

UNICA (União da indústria de cana-de-açúcar). **O “papel” da cana**, 2017. Disponível em: < <http://www.unica.com.br/noticia/347424992033158412/o-por-centoE2-por-cento80-por-cento9Cpapel-por-centoE2-por-cento80-por-cento9D-da-cana/>. > Acesso em: 20 fevereiro, 2017.

USMAN, A. Analysis Of Chlorophyll “A” And “B” In Randomly Selected Varieties Of Sugarcane Leaves Using Multivariate Analysis Of Variance. **Journal of Mathematics**, v. 10, n. 2, Ver. VII, p. 26-32, Mar./Abr. 2014.

van HEERDEN, P. D. R.; MBATHA, T. P.; NGXALIWE, S. Chemical ripening of sugarcane with trinexapac-ethyl (Moddus®) —Mode of action and comparative efficacy. **Field Crops Research**, v. 181, p. 69–75, 2015.

van HEERDEN, P. D. R. Evaluation of trinexapac-ethyl (Moddus®) as a new chemical ripener for the South African sugarcane industry. **Sugar Technology**, v. 16, n. 3, p. 295-299, 2013.

van HEERDEN, P. D. R.; EGGLESTON, G.; DONALDSON R. A. Ripening and Postharvest Deterioration. In: MOORE e BOTHA. **Sugarcane: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology**, 1^o Ed. New Delhi: John Wiley & Sons, 2014, 693 p.

van SOEST, P. J. **The Nutritional Ecology of the Ruminant**, 2^a ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476 p.

van SOEST, P. J. Voluntary intake relation to chemical composition and digestibility. **Journal Animal Science**, Champaign, Illinois, EE.UU. v. 24, n. 3, p. 834-844, 1965.

VELINI, et al. Características e Usos do Glifosato. In: VELINI, et al. **Glifosato, uso sustentável**. 1^a Ed. Botucatu: Editora FEPAF, 2012. Cap. 02, p.11-16.

VELINI, E. D. Efeitos do glifosato e do ácido salicílico sobre a síntese de lignina em milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27, 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** disponível em: <http://www.sbcpd.org/portal/anais/XXVII_CBPCPD/PDFs/623.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2013.

VELINI, E. D. et al. Glifosato at low doses can stimulate plant growth. **Pest Manag Science**, v. 64, p. 489–496, 2008.

VELINI, E. D. Modo de ação do glifosato. In: Meschede, D. K.; Carbonari C. A.; Trindade, M. L. B. **Glifosato**. Botucatu: Fepaf, 2009. 439 p.

NOGUEIRA, A. M. P.; VENTURINI FILHO, W. G. V. **Aguardente da Cana**. Universidade de Ciências Agrônômicas. UNESP – Campus de Botucatu. Abril/2005. Versão Eletrônica. Disponível em: <http://www.fca.unesp.br/intranet/arquivos/waldemar/Aguardente%20de%20Cana%20-Completo.pdf> Acesso em: 21/Fev/2016.

VENKATARAMANA, S. et al. Effect of ethrel and glifosato on the ripening of sugar cane. **International Journal of Chemical Technology Research**, v. 5, n. 4, p. 1927-1938, 2013.

VERMA, A. K. et al. Functional analysis of sucrose phosphate synthase (SPS) and sucrose synthase (SS) in sugarcane (*Saccharum*) cultivars. **Plant Biology**, v. 13, p. 325–332, 2011.

VIANA, R. S. et al. Morpho-anatomical aspects and technological quality of saccharine sorghum submitted to plant regulators. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, Paraná, v. 15, n. 2, p. 175-183, abr./jun. 2016.

VIANA, R. S. et al. Características morfoanatômicas de folhas de cana-de-açúcar sob efeito residual de maturadores. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, Paraná, v. 14, n. 4, p. 306-314, out. /dez. 2015.

VIANA, R. S.; MUTTON, M. A.; ZILLO, H. Índices de maturação da cana-de-açúcar quando submetida à aplicação de maturadores químicos. **Revista Mirante**, Goiás, v. 8, n. 1, jun. 2015.

VIANA, R. S. **Aplicação de maturadores químicos no final de safra, associada à eliminação de soqueira em área de reforma do canavial**. 2007. 46 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2007.

VIANA, R. S. et al. Maturadores químicos na cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) aplicados em final de safra. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, São Cristóvão, Sergipe, v. 7, n. 2, p. 100-107. 2007.

VIANA, R. S. **Efeitos de maturadores químicos aplicados em início de safra na produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar**. 2011. 81 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

VIANA, F. L. **Potencial energético do bagaço e palhiço de cana-de-açúcar, CV. SP80-1842 em alambique de artesanal**. 2011. 102 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia). Universidade Federal de Lavras. UFLA, 2011.

VIANA, R. S. et al. Efeito da aplicação de maturadores químicos na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) variedade SP81-3250. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, PR, v. 30, n. 1, p. 65-71, Jan. 2008.

VIATOR, R.; DALLEY, C. D.; RICHARD JUNIOR, E. Late-season glifosato ripener application coupled with post-harvest residue retention impacts subsequent ratoon yields. **International Sugar Journal**, v. 113, n. 1349, p. 374-380, 2011.

VIATOR, R. P.; JOHNSON, R. M.; RICHARD JUNIOR, E. P. Influence of non-optimal ripener applications and postharvest residue retention on sugarcane second ratoon yields. **Agronomy Journal**, v. 100, p. 1769–1773, 2008.

VILLEGAS, F. **Maduradores de caña de azúcar**. CALI: CENICAÑA, 2003. 66 p.

VORSTER, D. J.; BOTHA, F. C. Sugarcane internodal invertases and tissue maturity. **Journal of Plant Physiology**, v. 155, n. 4/5, p. 470-476, Abr. 1999.

WANG, J. et al. Carbon partitioning in sugarcane (*Saccharum* species). **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 1-6, 2013.

WALTER, A. et al. Brazilian sugarcane ethanol: developments so far and challenges for the future. **WIREs Energy Environmental**, v. 3, n. 1, p. 70-92, 2014.

WEI, et al. Fast and interference-free determination of glifosato and glufosinate residues through electrophoresis in disposable microfluidic chips. **Journal of Chromatography A**, v. 1281, p. 148–154, 2013.

YU, M.; HU, C. X.; WANG, Y. H. Effect of Mo deficiency on the content of chlorophyll and the ultrastructure of chloroplast in winter wheat cultivars. **Journal of Huazhong Agricultural University**, Huazhong, China, v. 24, n. 5, p. 465–469, 2005.

ZABLOTOWICZ, R. M.; REDDY, K. N. Glifosato-resistant transgenic soybean: A minireview. **Journal of Environment Quality**, v. 33, p. 825–831, 2004.

ZHANG, F. J. et al. Effect of Drought Stress on Anatomical Structure and Chloroplast Ultrastructure in Leaves of Sugarcane. **Sugar Technology**, v. 17, p. 41–48, Jan./Mar. 2015.

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 Physiology**, v. 115, p. 609-616, 1997.

ZUIN, et al. Comparison of stir bar sorptive extraction and membrane-assisted solvent extraction as enrichment techniques for the determination of pesticide and benzo[a]pyrene residues in Brazilian sugarcane juice. **Journal of Chromatography A**, v. 1114, p. 180–87, 2006.

APENDICE



Apendice 1. Equipamento costal CO₂ e bico TT 110015 na aplicação de maturador.