

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**MANEJO NUTRICIONAL NA QUALIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR E PRODUÇÃO
DE ETANOL EM FINAL DE SAFRA**

EDUARDO RODRIGO GAMBARINI

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**MANEJO NUTRICIONAL NA QUALIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR E PRODUÇÃO
DE ETANOL EM FINAL DE SAFRA**

EDUARDO RODRIGO GAMBARINI

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Márcia Justino Rossini Mutton
Coorientadora: Ms. Natália Novais Ribeiro

Trabalho apresentado à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP,
Câmpus de Jaboticabal, para graduação em
ENGENHARIA AGRONÔMICA.

Jaboticabal – SP
1º Semestre/2021

- G188m Gambarini, Eduardo Rodrigo
 Manejo nutricional na qualidade da cana-de-açúcar e produção de
 etanol em final de safra / Eduardo Rodrigo Gambarini. — Jaboticabal,
 2021
 36 f. : il., tabs.
- Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Agrônômica) -
 Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências
 Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
 Orientadora: Márcia Justino Rossini Mutton
 Coorientadora: Natália Novais Ribeiro
1. Plantas Nutrição. 2. Fermentação. 3. Etanol. 4. Cana-de-açúcar.
 5. Plantas Efeito do boro. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CÂMPUS DE JABOTICABAL



DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGIA AGROPECUÁRIA E
AMBIENTAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: MANEJO NUTRICIONAL NA QUALIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR E
PRODUÇÃO DE ETANOL EM FINAL DE SAFRA

ACADÊMICO: EDUARDO RODRIGO GAMBARINI

CURSO: ENGENHARIA AGRÔNOMICA

ORIENTADOR: PROF.^a DR.^a MÁRCIA JUSTINO ROSSINI MUTTON

CO-ORIENTADOR: Ms. NATÁLIA NOVAIS RIBEIRO

Este trabalho é recomendado para compor a base de dados CAPELO. ☐ Sim ☒ Não

Aprovado e corrigido de acordo com as sugestões da Banca Examinadora

BANCA EXAMINADORA:

Presidente Ms. Natália Novais Ribeiro
Membro Prof. Dr. Miguel Angelo Mutton
Membro Eng. Agrônoma Laís Cozer de Araujo

Natália Novais Ribeiro
Miguel Angelo Mutton
Laís Cozer de Araujo

Jaboticabal 17 / 09 / 2021

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 23 / 09 / 2021

Ad referendum

Luiz Saran

Chefe do Departamento

Epígrafe

“Educação não transforma o mundo.
Educação muda as pessoas. Pessoas
transformam o mundo.”

- Paulo Freire

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha família, principalmente meus pais, Rosana Cristina dos Santos Gambarini e José Eduardo Gambarini, pelos ensinamentos e por comprarem meu sonho, que agora, depois de tanta luta, suor, dificuldade, estamos quase a concretizar. Eu lhes serei grato eternamente por isso.

À República Abatedouro – Unesp Jaboticabal, que me acolheram desde minha chegada a faculdade, de forma tão humana que hoje me refiro a esse lugar como casa, e as amizades/irmãos criados ali sempre serão lembrados.

A minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Márcia Justino Rossini Mutton, por ter me acolhido em seu grupo de estagiários, onde foi de extrema importância para meu crescimento pessoal e profissional.

A todas as pessoas do laboratório envolvidas no projeto, que puderam ajudar para a realização do mesmo, provando que somos um time.

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUÇÃO.....	3
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	4
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
4. CONCLUSÕES.....	25
5. REFERÊNCIAS.....	26

**Manejo nutricional na qualidade da cana-de-açúcar e produção de etanol em
final de safra**

Nutritional management in sugarcane quality and ethanol production at the end of the
harvest

**Eduardo Rodrigo Gambarini, Natália Novais Ribeiro, Márcia Justino Rossini
Mutton**

RESUMO – A cana-de-açúcar é uma das principais culturas cultivadas no Brasil, sendo muito predominante na região geoeconômica Centro-Sul, onde se concentra cerca de 90% de sua produção nacional. Esta região possui clima característico com baixa pluviosidade durante o inverno, o que pode ocasionar grandes perdas nos canaviais, e, conseqüentemente, na indústria. A utilização de um programa de manejo complementar na época da pré-seca pode favorecer um bom desempenho da planta mesmo em períodos de estresse, garantindo que a qualidade da matéria-prima não sofra grandes danos. Neste contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar os reflexos da incorporação de um manejo nutricional via foliar no outono, associado ou não ao Boro, na qualidade dos colmos de cana-de-açúcar e na produção de etanol. O delineamento foi realizado em blocos casualizados com 5 repetições. Os tratamentos foram constituídos por Controle, 6 L.ha⁻¹ do Complexo Nutricional (1% de N; 6% de P₂O₅; 6% de K₂O; 2% de Mg; 2,5% de S e 1,6% de aminoácidos), 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional associado à 2 L.ha⁻¹ de Boro (ácido bórico à 10%). Foram realizadas análises tecnológicas do caldo extraído, caldo clarificado e vinho; e análises microbiológicas no início e final do processo fermentativo. O uso de 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional associado à 2 L.ha⁻¹ de Boro, proporcionou menor concentração

de Açúcares Redutores Residuais Totais (ARRT) no vinho e maior Teor Alcoólico e Eficiência Fermentativa em relação aos demais tratamentos testados.

Palavras-chave: Complexo Nutricional. Fermentação alcoólica. Nutrição de plantas. Nutrição foliar. Setor sucroenergético.

ABSTRACT – Sugarcane is one of the main crops grown in Brazil, being very predominant in the Central-South geoeconomic region, where around 90% of its national production is concentrated. This region has a characteristic climate with low rainfall during the winter, which can cause great losses in the sugarcane fields and, consequently, in the industry. The use of a complementary management program during the dry season can favor a good performance of the plant even in periods of stress, ensuring that the quality of the raw material does not suffer great damage. In this context, the objective of this study was to evaluate the effects of the incorporation of nutritional management via the leaves in autumn, associated or not with boron, on the quality of sugarcane stalks and on the production of ethanol. The design was carried out in randomized blocks with 5 replications. The treatments consisted of the Control, 6 L.ha⁻¹ of the Nutritional Complex (1% N; 6% P₂O₅; 6% K₂O; 2% Mg; 2.5% of S and 1.6% of amino acids), 6 L.ha⁻¹ of the Nutritional Complex associated with 2 L.ha⁻¹ of Boron. Technological analyzes of the extracted juice, clarified juice and wine were carried out; and microbiological analysis at the beginning and end of the fermentation process. The use of 6 L.ha⁻¹ of Nutritional Complex associated with 2 L.ha⁻¹ of Boron (10% boric acid), provided lower concentration of Total Residual Reducing Sugars (TRRS) in wine and higher Alcohol Content and Fermentation Efficiency in relation to the other treatments tested.

Key-words: Nutritional Complex. Alcoholic fermentation. Plant nutrition. Nutrition foliar. Sugar-energy sector.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar configura-se como uma das principais culturas cultivadas no Brasil, que é detentor do título de maior produtor mundial. Cerca de 8.605 milhões de hectares de sua área foram utilizados na safra 2020/21 para sua produção (CONAB, 2020) visto sua grande importância para fabricação de açúcar e etanol nas usinas e destilarias.

A maior parte da produção nacional é oriunda da região geoeconômica Centro-Sul, onde está localizado 90% da área total dos canaviais brasileiros. Esta região realiza suas safras durante os meses de maio à dezembro (CONAB, 2020), possuindo em sua maior parte o clima Tropical, caracterizado por verões com alto índice pluviométrico e invernos mais secos.

Devido as condições climáticas adversas do período de inverno, há uma diminuição no desenvolvimento dos canaviais presentes no Centro-Sul, durante os meses de maio a setembro (SENAR, 2018). Para ter um bom crescimento e desenvolvimento dos colmos é intrínseco que se tenha um ambiente favorável a planta, pois fatores ambientais como radiação solar, disponibilidade hídrica e de nutrientes são de extrema importância para os processos metabólicos e energéticos da cana-de-açúcar (BRUNINI, 2016).

Para obtenção de uma boa matéria-prima ao final do ciclo, o canavial apresenta também uma certa exigência nutricional em macros e micronutrientes que deve ser feita adequadamente pensando em altas produtividades e qualidade tecnológica (MARANGONI, 2016). Tais fatores são importantes quando se preza uma alta eficiência industrial.

O Nitrogênio é muito importante no perfilhamento e máximo crescimento pensando em produção de massa seca e aumento de produtividade, o Fósforo tem

como função crescer raízes e impulsionar perfilhamento, já o Potássio é alocado nos colmos e tem seu pico de demanda durante a fase de máximo crescimento, sendo responsável por ativar mais de 50 enzimas na síntese de amido e sacarose (YARA, 2018; MOORE; BOTHA, 2014).

Ainda nos macronutrientes, o magnésio, pertencente a molécula de clorofila, é responsável pela melhora fotossintética através de suas atividades enzimáticas (GERENDÁS; FÜHRS, 2013). O Enxofre, segundo Wilson (1962), é o componente estrutural de aminoácidos como a cistina e metionina, responsáveis pela síntese de proteínas, é essencial também para a produção de clorofila, aumentando a fotossíntese e produção de sacarose (MARSCHNER, 2012).

Sendo essencial para os canaviais, o micronutriente Boro tem a função de translocar açúcares das folhas da planta para o colmo e esta, quando deficiente obstrui o floema causando grandes prejuízos já que é principal via de transporte da sacarose (PRADO, 2008)

Neste contexto, a utilização de um programa de manejo nutricional complementar via foliar na época de seca pode oferecer de maneira equilibrada elementos essenciais (N, P_2O_5 , K_2O , Mg, S, B e aminoácidos) para a cana-de-açúcar. Desta forma, espera-se que o estresse em que os canaviais são submetidos possam ser atenuados e garantir que a qualidade da matéria-prima se mantenha até o final da safra, garantindo alta produtividade industrial na produção de etanol.

MATERIAL E MÉTODOS

Local do experimento

O experimento foi conduzido em condições de campo na Fazenda Santa Elisa, na cidade de Araraquara–SP, na safra 2020/2021. O município situa-se na região

central do Estado de São Paulo à 664 m de altitude, possui relevo levemente ondulado, clima tropical e índices de precipitações acima de 20 mm (BARBUGLI, 2004). As análises químico-tecnológicas foram conduzidas no Laboratório de Açúcar e do Alcool, do Departamento de Biotecnologia Agropecuária e Ambiental, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP, campus de Jaboticabal – SP.

Instalação do experimento

A área escolhida para implementação do experimento apresentava cana-de-açúcar CV 7870 no 4º estágio de corte. Tal variedade tem como principais características: porte ereto, excelente performance sob plantio e colheita mecanizada e boa adaptabilidade a ambientes intermediários – C e D (AGROLINK, 2012).

No dia 06 de fevereiro de 2020 (133 dias após o último corte) foi realizada a adubação foliar de todo o talhão escolhido com 12,5 L.ha⁻¹ de formulação líquida (densidade de 1,2 g.cm⁻³) constituída por 7,98% de nitrogênio, 1,5% de enxofre, 0,52% de boro, 0,26% de cobre, 1,6% de manganês, 0,26% de molibdênio e 1,3% de zinco (Figura 01) .

Figura 01 - Mapa da área utilizada na Fazenda Santa Elisa, para implantação do experimento na cidade de Araraquara–SP (safra 2020/2021), com destaque para o talhão escolhido.



A instalação dos tratamentos foi realizada em 08 de junho de 2020 através da aplicação de Complexo Nutricional Complementar de Outono. Foi utilizado delineamento experimental em blocos casualizados, com 3 tratamentos e 5 repetições, conforme Tabela 01.

Tabela 01 - Tratamentos e doses utilizadas para implantação do experimento na cidade de Araraquara–SP (safra 2020/2021).

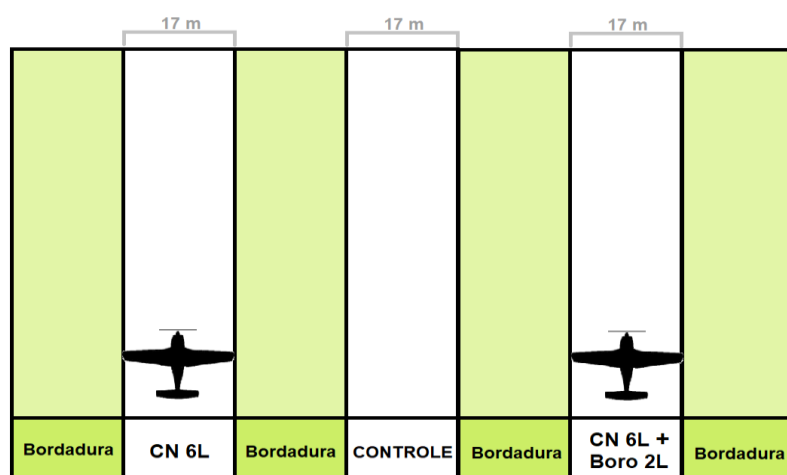
Tratamentos	Produtos	Dose/ha
Controle	-	-
CN 6L	Complexo Nutricional*	6 litros
CN 6L+Boro 2L	Complexo Nutricional* + Boro**	6 + 2 litros

*Complexo Nutricional: 1% de N; 6% de P_2O_5 ; 6% de K_2O ; 2% de Mg; 2,5% de S e 1,6% de Carbono orgânico total (aminoácidos). Densidade: $1,25 \text{ g.cm}^{-3}$

** Ácido bórico à 10%. Densidade: $1,35 \text{ g.cm}^{-3}$.

As parcelas foram constituídas por 7 linhas de cana-de-açúcar com 50 metros de comprimento, conforme representado no esquema a seguir:

Figura 02 - Croqui da área utilizada na Fazenda Santa Elisa, para implantação do experimento na cidade de Araraquara–SP (safra 2020/2021), com destaque para os tratamentos realizados.



Todos os produtos foram aplicados via aérea, utilizando-se aeronave agrícola adaptada com barra com bicos hidráulicos. Foi empregado sistema de posicionamento global (GPS) acoplado, de controle automático, utilizando-se altura de voo de 3 a 4 metros acima do dossel, velocidade constante de 160 km.h⁻¹ e vazão de 30 L.ha⁻¹.

Colheita da cana-de-açúcar

Em outubro de 2020, foram colhidos 30 colmos de cana-de-açúcar de cada tratamento através de corte manual, rente à base e no ponto de quebra da ponta, sem queima prévia da palha. As folhas secas e verdes foram removidas para obtenção de colmos limpos.

Extração e clarificação do caldo da cana

Após a colheita dos colmos, foi realizada a extração do caldo em moenda de laboratório, para obtenção do caldo extraído.

O caldo extraído foi tratado segundo metodologia CTC (2005), adicionando-se Hidróxido de Cálcio 6° Bé até pH $7,0 \pm 0,1$. A seguir, este passou por aquecimento até a ebulição, a fim de acelerar a reação entre o cálcio e o fosfato. Posteriormente, o caldo aquecido foi disposto em provetas graduadas contendo polímero (Kemira, LX), utilizado como auxiliar de decantação. Após 20 minutos em repouso, o caldo clarificado foi sifonado e armazenado.

Análises químico-tecnológicas

Os caldos extraídos e clarificados foram encaminhados para realização das seguintes análises tecnológicas: °Brix, Pol (SCHENEIDER, 1979), Açúcar Redutor Total [ART], Açúcares Redutores [AR] (LANE e EYNON, 1934), pH, Acidez Total,

Cinzas Condutimétricas, Turbidez (CTC, 2005), Teor de Amido (CHAVAN et al., 1991) e Compostos Fenólicos Totais (FOLIN e CIOCALTEAU, 1927). A Pureza Aparente dos caldos foram calculadas através da relação entre a Pol e o Brix do caldo ($\text{Pol} \times 100/\text{Brix}$).

Suplementação dos mostos

Devido a utilização de pH 7,0 durante a etapa de caleagem no processo de clarificação, alguns caldos sofreram perdas significativas de nutrientes. A concentração de Fósforo (P_2O_5), Potássio (K_2O) e Magnésio foram analisadas em espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), após decomposição ácida dos caldos clarificados.

Os caldos que apresentavam deficiência nestes compostos foram suplementados com fosfato de sódio (Na_3PO_4), sulfato de potássio (K_2SO_4) e sulfato de magnésio (MgSO_4). Os reagentes foram adicionados proporcionalmente para obtenção de $0,3 \text{ g.L}^{-1}$ de Fósforo, $0,3 \text{ g.L}^{-1}$ de Potássio e $0,05 \text{ g.L}^{-1}$ de Magnésio, valores essenciais para realização de fermentação alcoólica pelas leveduras (PAVANI et al., 2013, RIBEIRO et al., 2019).

Condução do Processo Fermentativo

Os mostos foram inoculados com levedura *Saccharomyces cerevisiae* prensada, sendo mantidos a temperatura de 32°C e agitação de 150 rpm durante todo o processo. Ao início, após 40 minutos e ao final da fermentação foram realizadas avaliações microbiológicas utilizando-se Câmara de Neubauer, quantificando-se viabilidade celular das leveduras, viabilidade de brotos e índice de brotamentos segundo Lee, Robinson e Wong (1981). Ao término do processo fermentativo, os

vinhos foram centrifugados a 1650g, 25°C, por 5 minutos (centrífuga HIMAC CR 21G) para separação do fermento e do vinho.

Avaliação das Características Tecnológicas do Vinho

Foram determinados os Açúcares Redutores Residuais Totais (ARRT) (MILLER, 1959), Acidez Total (CTC, 2005) e Teor de Glicerol (FERMENTEC, 2003).

Análise do destilado

Os vinhos foram destilados em micro-destilador de álcool (modelo TE-012 Tecnal), com um volume de 60 mL recuperando 20 mL do destilado (concentrado 3 vezes).

Os destilados foram analisados em relação ao Teor Alcoólico por leitura direta em densímetro portátil (Anton Paar, DMA 35). O resultado obtido foi dividido por 3 para obtenção da concentração alcoólica presente no vinho.

Avaliação da Eficiência Fermentativa

O cálculo do Rendimento Teórico foi realizado considerando-se que 1 g de ART produz 0,6475 mL de etanol (reação estequiométrica). O Rendimento Prático (considerando-se o teor alcoólico do vinho), a Eficiência Fermentativa e a Produção de Etanol (L.mg^{-1}) foram determinadas segundo Fernandes (2000).

Análise Estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F), teste de comparação de médias (Tukey 5%) utilizando o Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos - AgroEstat (BARBOSA e MALDONADO JUNIOR, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caldo extraído

Os caldos extraídos foram submetidos às análises de Brix, Pol, ART, AR, pH, Acidez Total, Cinzas Condutimétricas, Turbidez, Teor de Amido e Compostos Fenólicos Totais. Os resultados estão representados graficamente nas Figuras 03 a 07.

A análise de °Brix quantifica o teor de sólidos solúveis em uma solução açucarada à 20°C. A Figura 03.A demonstra que houve diferença significativa a nível de 5% de probabilidade para o tratamento CN 6L+Boro 2L, se mostrando 5,10% inferior ao controle. Apesar disto, nota-se que todos os tratamentos possuíam médias superiores à 18%, valor recomendado para a industrialização dos colmos de cana-de-açúcar (SILVA et al. 2015).

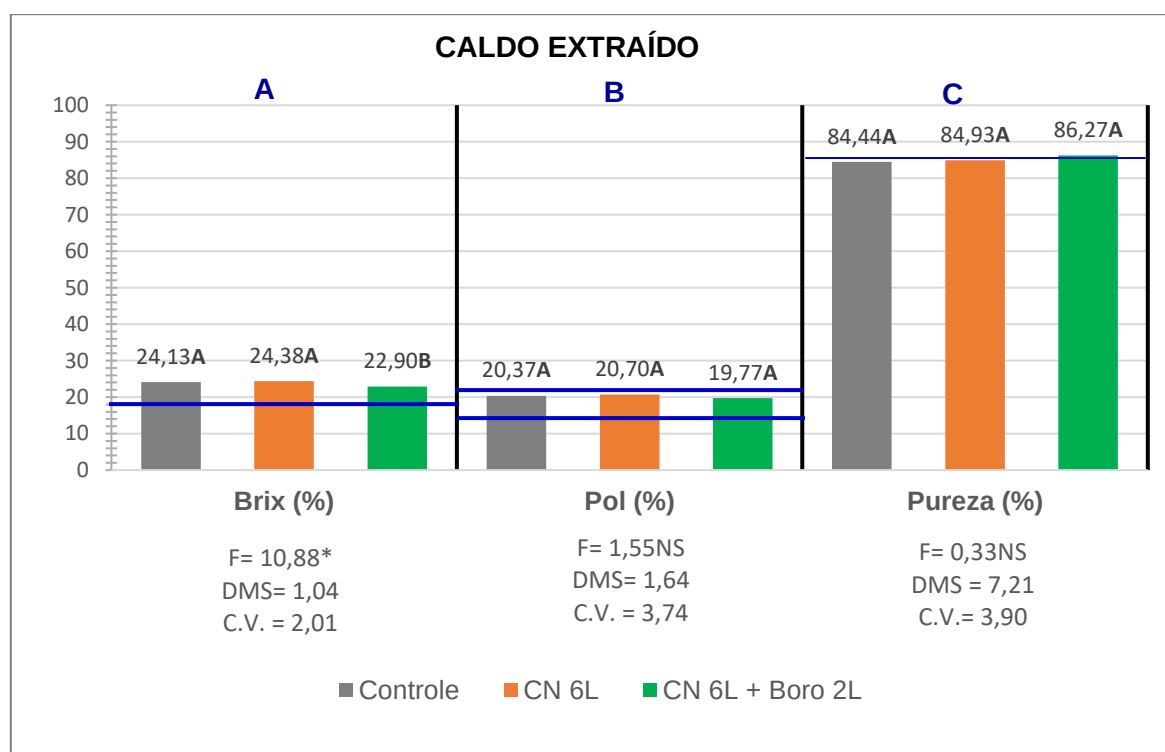
De acordo com a literatura, a cana-de-açúcar está apta para processamento quando seu caldo extraído possui teores de sacarose aparente (Pol) entre 14 à 22% (PACHECO, 2012; SILVA et al., 2015). Desta forma, todos os tratamentos obtiveram concentrações ideais para industrialização de seus colmos para a produção de etanol (Figura 03.B).

Para colheita de matéria-prima de qualidade, indica-se valores de Pureza Aparente iguais ou superiores à 85% (Amorim, 2006). A partir disto, nota-se que apesar de não apresentarem diferenças estatísticas entre si, somente os colmos tratados com CN 6L+Boro 2L atingiram o valor esperado, contendo um caldo mais rico em sacarose que os demais (Figura 03.C).

O estudo de todos os gráficos da Figura 03 demonstra que apesar de possuir menores valores de °Brix e Pol, o tratamento CN 6L+Boro 2L possuía a melhor relação de Pureza, sendo 2,12 e 1,55% superior ao Controle e CN 6L, respectivamente.

Os valores de °Brix, Pol e Pureza do caldo do presente estudo foram maiores que os observados por Silva (2021), que obteve valores médios de 18,14, 13,38% e 73,58%, para os mesmos parâmetros, 390 dias após transplântio de mudas pré-brotadas (MPB) da mesma variedade (CV 7870).

Figura 03 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para Brix, Pol e Pureza do caldo extraído. Jaboticabal - SP. 2020.

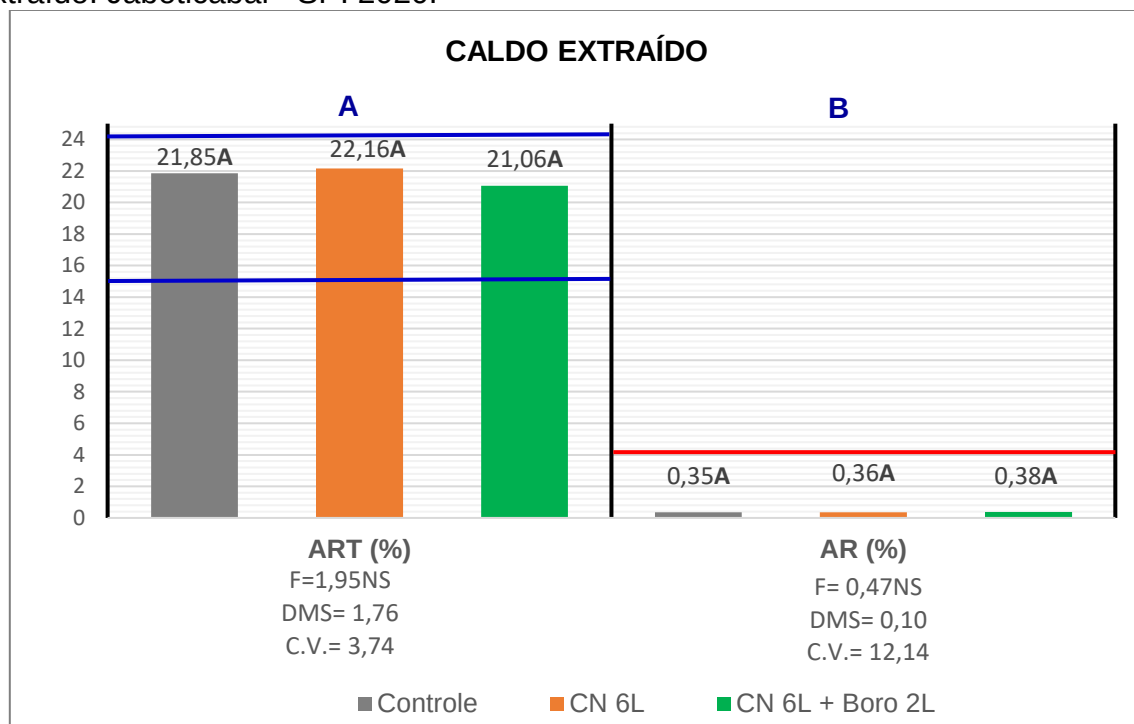


CN 6L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional. CN 6L + Boro 2L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional associado à 2 L.ha⁻¹ de Boro. As médias seguidas de letras diferentes na mesma figura diferem pelo teste de Tukey. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ns não significativo ($p \geq 0,05$). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

Para que o processamento industrial obtenha a maior eficiência produtiva, é necessário que os valores de Açúcares Redutores Totais (ART) presentes nos colmos encontrem-se na faixa de 15 a 24% (PACHECO, 2012; SILVA et al., 2015). Em relação aos Açúcares Redutores (AR), indica-se concentrações menores ou iguais à 0,80% (AMORIM, 2006). Sendo assim, para os índices de ART e AR, os 3 tratamentos

apresentaram valores médios adequados e que não diferiam estatisticamente entre si, conforme mostra a Figura 4.

Figura 04 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para Açúcares Redutores Totais (ART) e Açúcares Redutores (AR) do caldo extraído. Jaboticabal - SP. 2020.



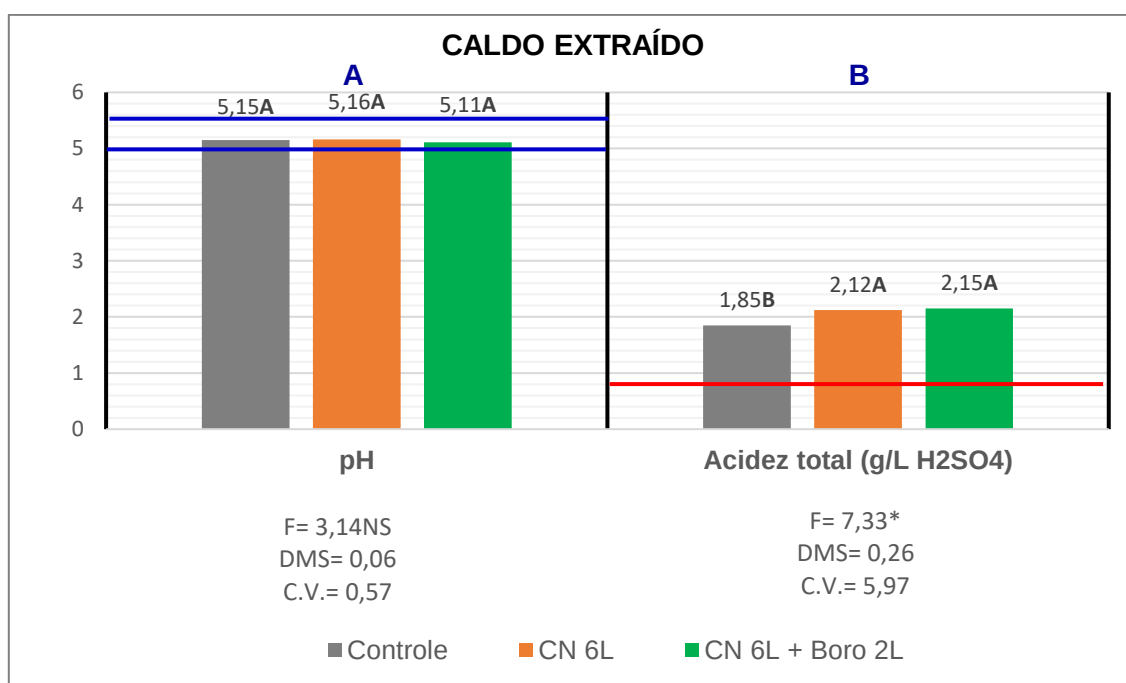
CN 6L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional. CN 6L + Boro 2L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional associado à 2 L.ha⁻¹ de Boro. As médias seguidas de letras diferentes na mesma figura diferem pelo teste de Tukey. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ns não significativo ($p \geq 0,05$). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

O pH do caldo extraído da cana-de-açúcar deve ser da ordem de 5,0 à 5,5 para processamento (AMORIM 2006). De acordo com Delgado e César (1977), os valores de Acidez Total devem ser iguais ou menores à 0,8 g.L⁻¹ H₂SO₄ (DELGADO e CÉSAR 1977). Para ambos os casos, valores fora desta faixa podem indicar a presença de grande número de internódios imaturos, deterioração da matéria-prima e/ou presença de pragas e doenças.

Em relação ao pH é possível notar que todos os valores estão dentro dos níveis indicados, porém o mesmo não ocorre com a Acidez Total (Figura 05). Observa-se

que mesmo que o Controle tenha apresentado a menor média, nenhum tratamento testado se encontra dentro da faixa ideal (Figura 05.B). Apesar disto, os resultados das demais análises tecnológicas (Figura 03 e 04) demonstram que tal comportamento possivelmente não estava ligado à cana imatura ou presença de pragas ou doenças.

Figura 05 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para pH e Acidez Total do caldo extraído. Jaboticabal - SP. 2020.



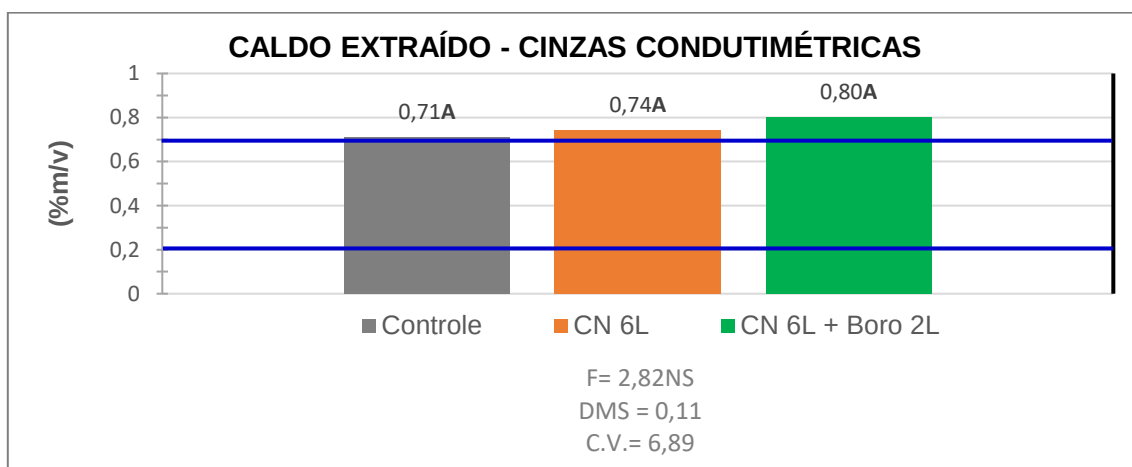
CN 6L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional. CN 6L + Boro 2L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional associado à 2 L.ha⁻¹ de Boro. As médias seguidas de letras diferentes na mesma figura diferem pelo teste de Tukey. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ns não significativo ($p \geq 0,05$). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

Os altos valores de acidez sulfúrica registrados podem ser intrínsecos à variedade utilizada, havendo também a possibilidade da interferência do período à qual a cana foi colhida, uma vez que, cana de final de safra sofre mais estresse quando comparada às matérias-primas colhidas no início e meio de safra (BARIZI, 2021). Tasso Junior et al. (2010), observaram que os níveis de Acidez Total de

diferentes cultivares apresentaram comportamentos distintos ao longo dos períodos de safra amostrados. Ao final do estudo CTC 15, IAC95-5000 e IAC91-1099 apresentaram níveis de acidez superiores à $0,8 \text{ g.L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$, mesmo que ainda se encontrassem dentro do período útil de industrialização (PUI) (TASSO JUNIOR et al., 2010).

Em análise do teor de Cinzas presentes no caldo extraído, devendo esta permanecer na faixa de 0,2 a 0,7% (DELGADO e CÉSAR, 1977), foi possível observar que todos os caldos possuíam concentrações superiores mesmo que a níveis muito baixos (Figura 06).

Figura 06 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para Cinzas Condutimétricas do caldo extraído. Jaboticabal - SP. 2020.



CN 6L = 6 L.ha^{-1} de Complexo Nutricional. CN 6L + Boro 2L = 6 L.ha^{-1} de Complexo Nutricional associado à 2 L.ha^{-1} de Boro. As médias seguidas de letras diferentes na mesma figura diferem pelo teste de Tukey. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ns não significativo ($p \geq 0,05$). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

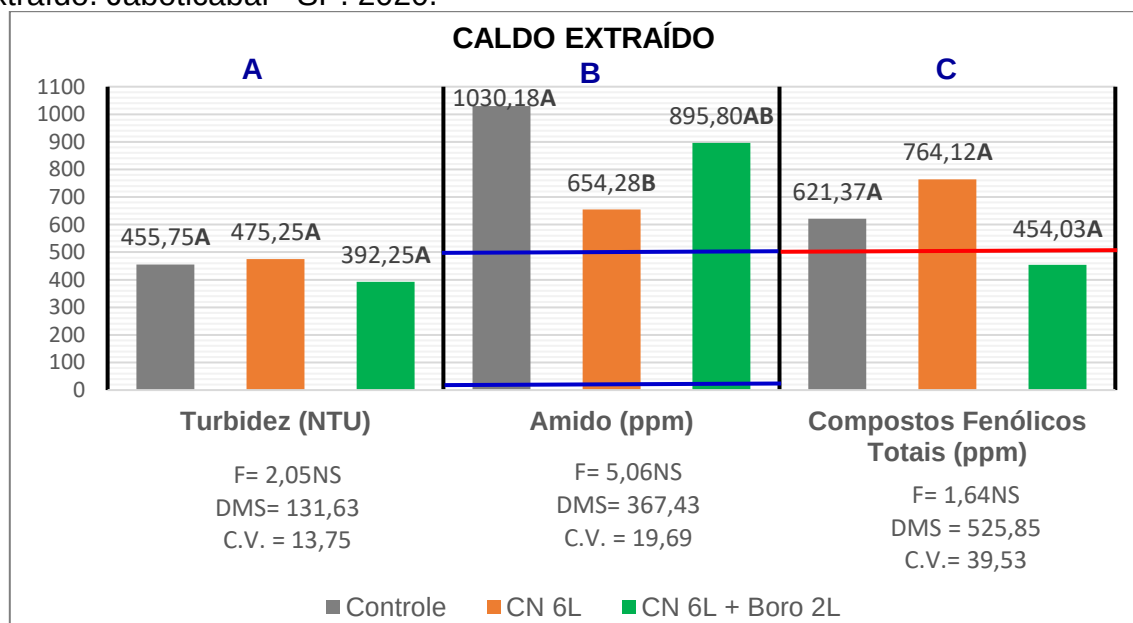
A análise de Turbidez é realizada com o intuito de quantificar as partículas em suspensão, sendo assim, quanto menor for o seu valor, mais translúcido é o caldo extraído. Apesar de não apresentar diferenças estatísticas, o tratamento Controle e

CN 6L apresentaram valores 16,19 e 21,16% superiores à CN 6L+Boro 2L (Figura 07.A).

De acordo com Amorim (2006) e Pacheco (2012), quando se objetiva o processamento industrial de colmos de cana-de-açúcar, é desejável que os Teores de Amido no caldo extraído compreendam a faixa de 10-500 ppm. Apesar disto, o que se nota é que existe uma grande variabilidade nestes valores, fator que pode estar relacionado com a variedade utilizada, desenvolvimento da cultura e condições de manejo e/ou ambientais. Godshall et al., 1994 já relataram concentrações entre 275 à 1867 ppm e Figueira et al. (2011) entre 1658 à 2581 ppm.

No presente trabalho, é possível notar como os tratamentos contendo complexo nutricional diferem do Controle em Teores de Amido, apresentando valores inferiores, com destaque para CN 6L, que trouxe o resultado mais próximo do ideal (Figura 07.B).

Figura 07 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para Turbidez, Teor de Amido e Compostos Fenólicos Totais do caldo extraído. Jaboticabal - SP. 2020.



CN 6L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional. CN 6L + Boro 2L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional associado à 2 L.ha⁻¹ de Boro. As médias seguidas de letras diferentes na mesma figura diferem pelo teste de Tukey. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ns não significativo ($p \geq 0,05$). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

Em geral, a concentração de Compostos Fenólicos Totais no caldo de cana-de-açúcar é da ordem 400 ppm (RAVANELI et al., 2011), com faixa entre 300 e 500 ppm (Leite, 2000). Apesar disto, alguns estudos relatam valores com espectro muito maior. O tratamento CN 6L+Boro 2L traz os menores índices de Compostos Fenólicos, sendo o único que se enquadra na faixa proposta (Figura 07.C).

Simioni et al. (2006) encontraram resultados superiores a 2.000 ppm/Brix para Compostos Fenólicos Totais em diversas variedades de cana, sendo observado que os maiores teores foram obtidos quando a colheita foi realizada no mês de outubro. Tal comportamento corrobora os valores médios encontrados durante o presente experimento e sua época de colheita.

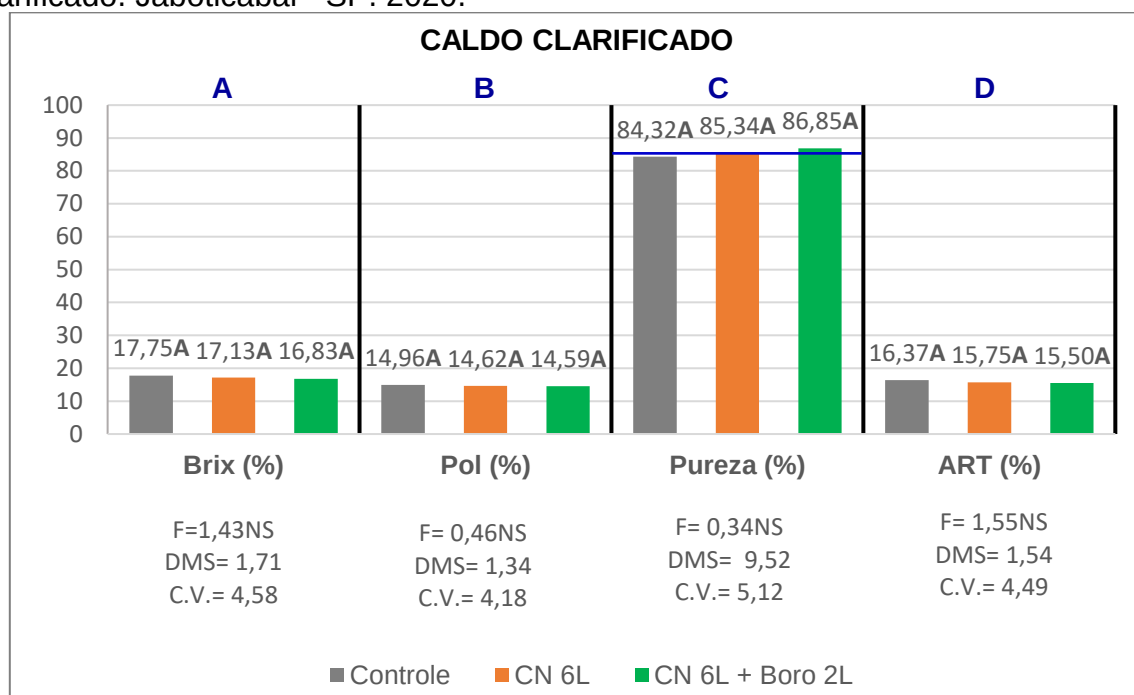
Caldo Clarificado

A clarificação do caldo é realizada para a eliminação das impurezas presentes no caldo extraído da cana-de-açúcar capazes de afetar as leveduras e o processo fermentativo, essa etapa antecede o preparo do mosto e é de extrema importância para uma boa fermentação.

As análises de Brix, Pol, Pureza, ART, pH, Acidez Total, Cinzas Condutimétricas, Turbidez, Teor de Amido e Compostos Fenólicos Totais do caldo clarificado, estão representadas nas figuras 8 a 11.

As análises de Brix, Pol e ART para os caldos clarificados não demonstraram diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 08). Em relação a Pureza aparente, somente o Controle não conseguiu valores superiores à 85% mesmo após o processo de clarificação. Nota-se que o uso de complexo nutricional, associado ou não ao Boro, permitiu um bom processo de purificação (Figura 8.C) e, consequentemente, a retirada de substâncias prejudiciais à fermentação.

Figura 08 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para Brix, Pol, Pureza e Açúcares Redutores Totais (ART) do caldo clarificado. Jaboticabal - SP. 2020.



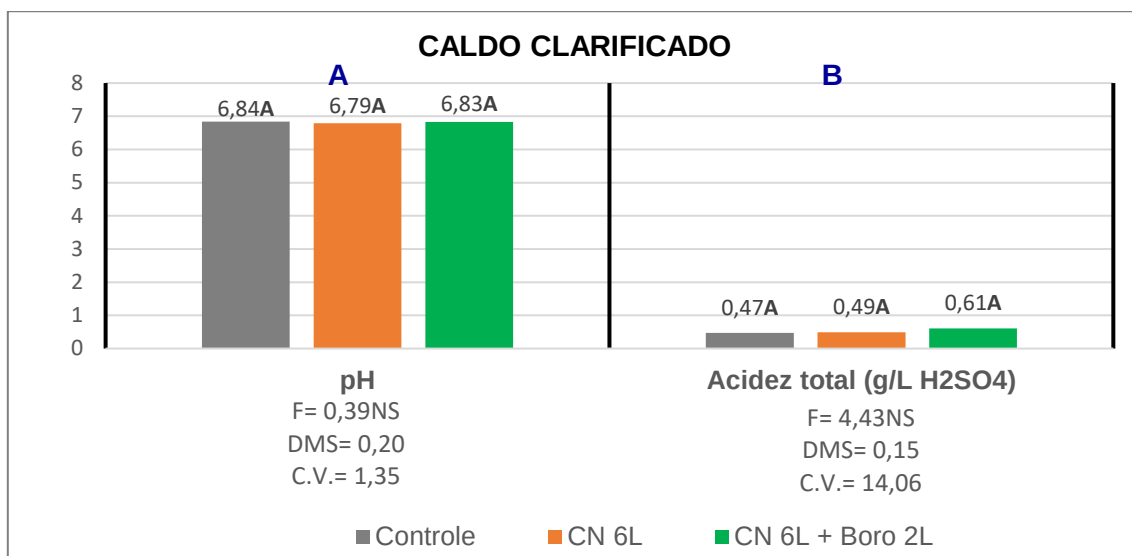
CN 6L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional. CN 6L + Boro 2L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional associado à 2 L.ha⁻¹ de Boro. As médias seguidas de letras diferentes na mesma figura diferem pelo teste de Tukey. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ns não significativo ($p \geq 0,05$). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

Analisando-se os teores de pH e Acidez Total do caldo clarificado, percebe-se que ambos os parâmetros não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos (Figura 09). Ao se comparar os valores de Acidez Total dos caldos extraídos (Figura 5.B) com os dos caldos clarificados (Figura 09.B), fica visível que houve uma redução de aproximadamente 70% de sua concentração para todos os tratamentos.

Conforme esperado, após a clarificação os teores de Cinzas sofreram grandes reduções. O tratamento Controle apresentou diferença estatística em relação aos tratamentos com complexo nutricional, obtendo o menor valor médio. Apesar disto, comparando-se as concentrações presentes no caldo extraído (Figura 6) com as obtidas no caldo clarificado, nota-se que Controle e CN 6L obtiveram reduções

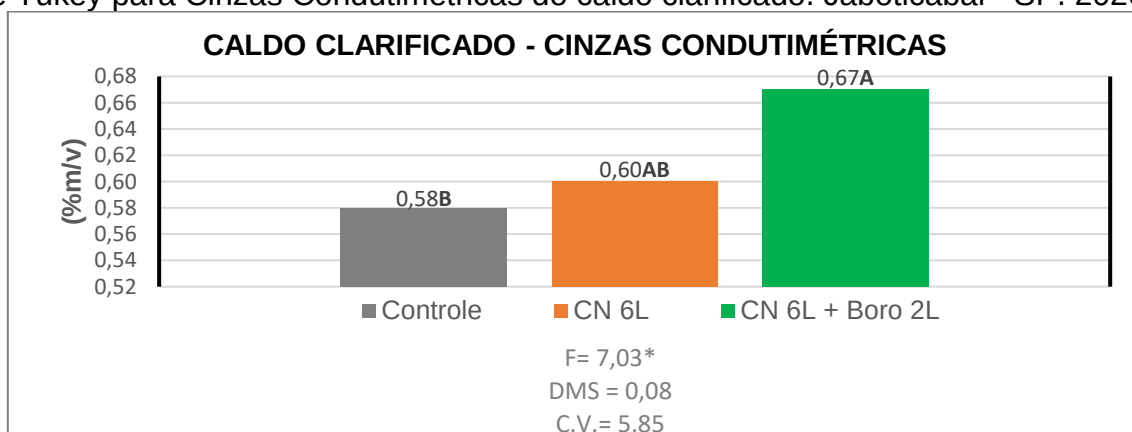
parecidas em seus teores, 18,31 e 18,92% respectivamente, enquanto para CN 6L+Boro 2L houve decréscimo de somente 16,25% (Figura 10).

Figura 09 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para pH e Acidez Total do caldo clarificado. Jaboticabal - SP. 2020.



CN 6L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional. CN 6L + Boro 2L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional associado à 2 L.ha⁻¹ de Boro. As médias seguidas de letras diferentes na mesma figura diferem pelo teste de Tukey. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ns não significativo ($p \geq 0,05$). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

Figura 10 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para Cinzas Condutimétricas do caldo clarificado. Jaboticabal - SP. 2020.

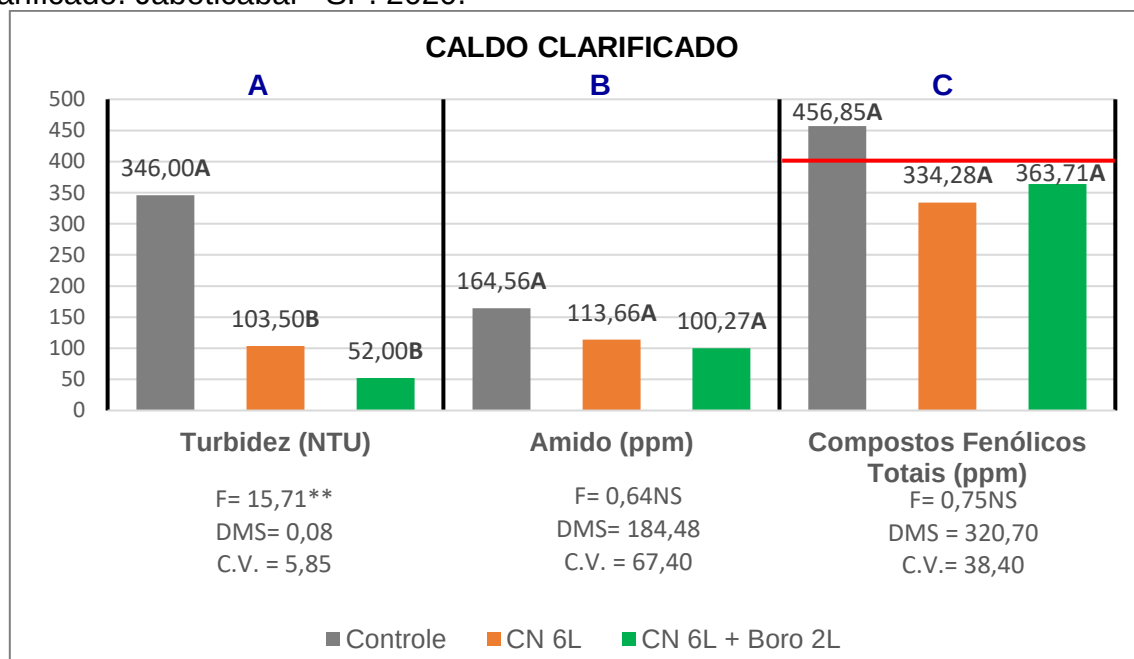


CN 6L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional. CN 6L + Boro 2L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional associado à 2 L.ha⁻¹ de Boro. As médias seguidas de letras diferentes na mesma figura diferem pelo teste de Tukey. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ns não significativo ($p \geq 0,05$). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

A Turbidez é um dos principais parâmetros para a avaliação da eficiência do processo de clarificação, sendo comum identificar grandes diminuições em seus teores após o processo de purificação do caldo extraído (Figura 07.A). Para CN 6L+Boro 2L e CN 6L houve uma grande retirada de impurezas, havendo uma redução de 87 e 80%, respectivamente, na Turbidez dos caldos. Para Controle não foi observado a mesma eficiência, havendo uma diminuição de apenas 25% (Figura 11.A).

Para Teor de Amido, o uso do complexo nutricional, associado ou não ao Boro, contribuiu para um melhor processo de purificação, havendo diminuição de mais de 80% em relação ao caldo extraído (Figura 07.B), apresentando menores valores que Controle (Figura 11.B).

Figura 11 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para Turbidez, Teor de Amido e Compostos Fenólicos Totais do caldo clarificado. Jaboticabal - SP. 2020.



CN 6L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional. CN 6L + Boro 2L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional associado à 2 L.ha⁻¹ de Boro. As médias seguidas de letras diferentes na mesma figura diferem pelo teste de Tukey. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ns não significativo ($p \geq 0,05$). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

Para Compostos Fenólicos Totais, é importante que os valores sejam os menores possíveis, uma vez que podem estressar as leveduras e levar a perdas de eficiência fermentativa. Observando-se a Figura 11.C, fica evidente que somente os caldos provenientes dos tratamentos com complexo nutricional atingiram valores inferiores a 400 mg.L^{-1} , nível máximo proposto por Madaleno (2010) para fermentações com alto rendimento.

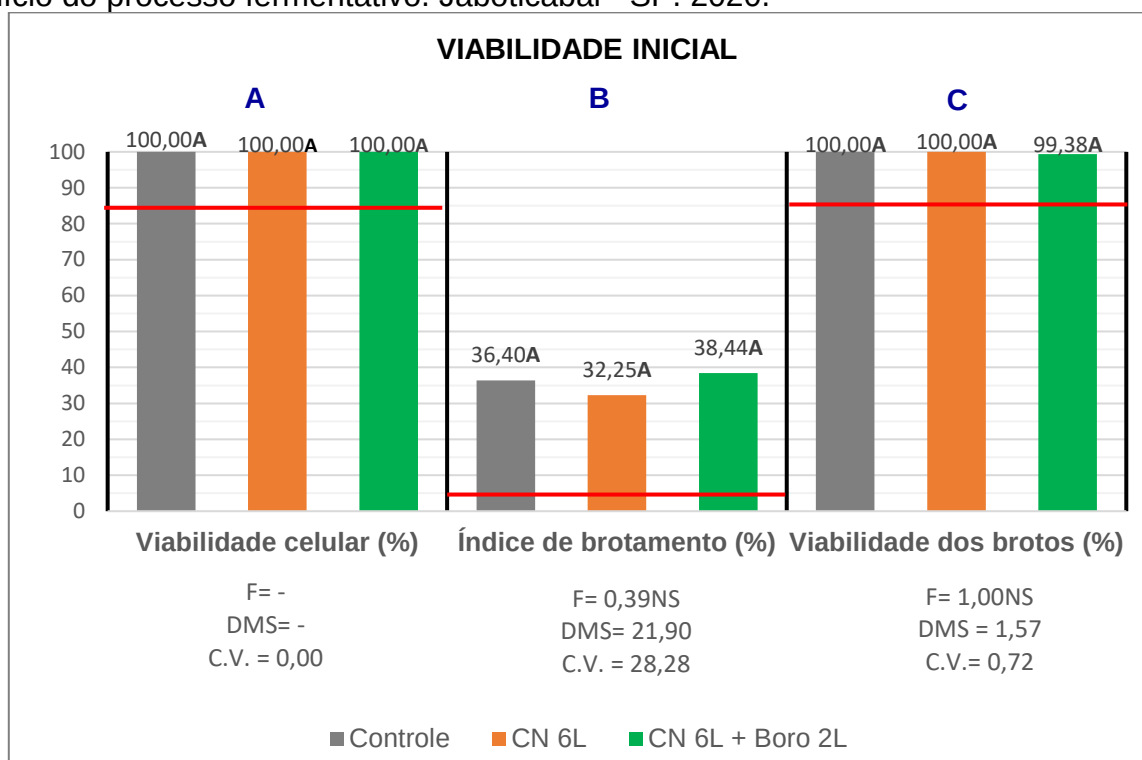
Fermentação

Para poder concluir se o produto aplicado na cana-de-açúcar não provoca interferências negativas durante o processo fermentativo, é importante analisar o comportamento da levedura durante a fermentação. A partir do resultado obtido, pode-se concluir se vale a pena o uso de complexos nutricionais.

Para análise do processo fermentativo foram avaliadas a viabilidade celular, índice de brotamento e viabilidade dos brotos da levedura *Saccharomyces cerevisiae* no início e ao final da fermentação. Os resultados estão representados nas figuras 12 e 13.

Para uma boa fermentação é imprescindível que a levedura se adapte ao meio em que foi colocada, mantendo viabilidade celular acima dos 85% e índice de brotamento superior à 5% (Amorim, 2006). Conforme Figura 12, no início todos os tratamentos obtiveram valores superiores aos recomendados, demonstrando que a levedura obteve excelente adaptação aos mostos e estavam aptas para fermentação.

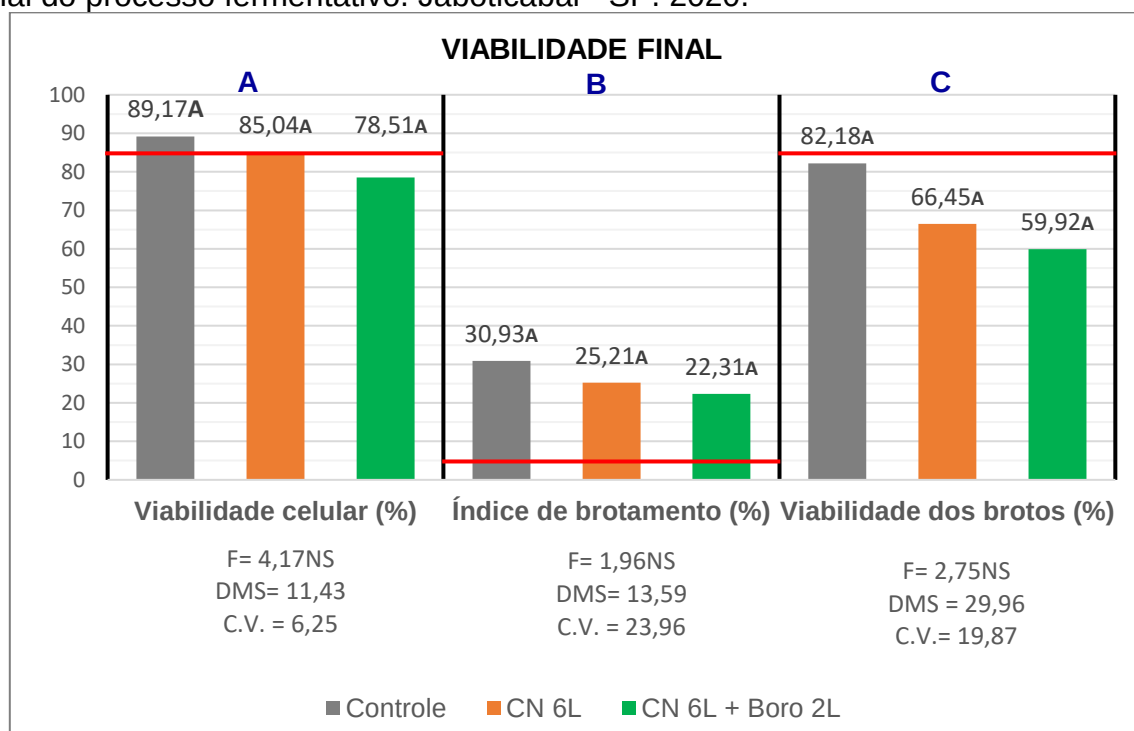
Figura 12 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para Viabilidade celular, Índice de brotamento e Viabilidade dos brotos no início do processo fermentativo. Jaboticabal - SP. 2020.



CN 6L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional. CN 6L + Boro 2L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional associado à 2 L.ha⁻¹ de Boro. As médias seguidas de letras diferentes na mesma figura diferem pelo teste de Tukey. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ns não significativo ($p \geq 0,05$). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

Ao final do processo fermentativo, nota-se que não houve diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos para os parâmetros avaliados. CN 6L+Boro 2L, obteve a menor viabilidade celular, sendo o único a ficar abaixo do recomendado. Tal comportamento pode ter ocorrido por conta da utilização de levedura prensada durante a fermentação, pelo fato deste tipo de inóculo não ser tolerante aos produtos da fermentação (AMORIM, 2005; PACHECO, 2010) em ênfase às altas concentrações de etanol, e por conta disso não se torna viável sua utilização em larga escala nos processos industriais. Em casos de altos rendimentos fermentativos, é comum obter maior taxa de mortalidade devido a presença de alto teor alcoólico.

Figura 13 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para Viabilidade celular, Índice de brotamento e Viabilidade dos brotos no final do processo fermentativo. Jaboticabal - SP. 2020.



CN 6L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional. CN 6L + Boro 2L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional associado à 2 L.ha⁻¹ de Boro. As médias seguidas de letras diferentes na mesma figura diferem pelo teste de Tukey. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ns não significativo ($p \geq 0,05$). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

Vinho

No vinho foram feitas as análises de ARRT, Glicerol, Acidez Total, Teor Alcoólico e Eficiência Fermentativa. Os resultados estão representados nas figuras 14 e 15.

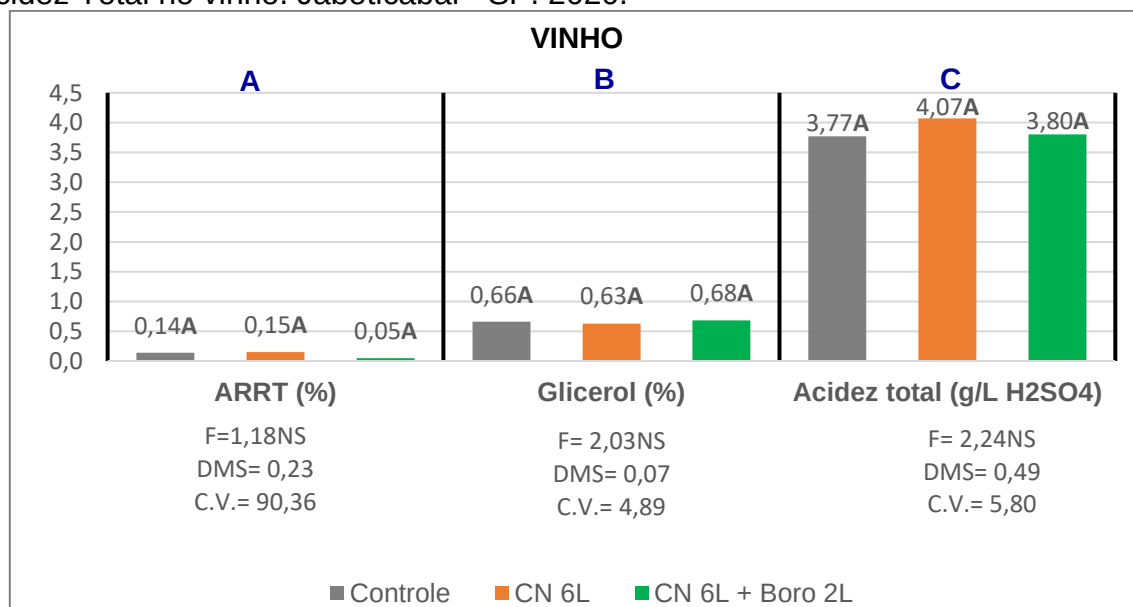
Os Açúcares Redutores Residuais Totais (ARRT) são os carboidratos presentes no vinho que não foram utilizados pelas leveduras durante o processo fermentativo, por isto deseja-se que sua concentração nos vinhos seja a menor possível. Ao analisar os resultados da Figura 14.A, observa-se que apesar de não existir diferença estatística entre os tratamentos, CN 6L+Boro 2L apresentou o menor

teor de ARRT, utilizando quase todos os açúcares presentes no mosto durante a fermentação.

De acordo com Amorim et al. (1998), os teores ideais de glicerol produzidos devem ser os menores possíveis considerando-se que o objetivo central da fermentação alcoólica é a obtenção da maior concentração de etanol possível. A figura 14.B evidencia que não houve diferenças significativas entre os tratamentos testados.

Após o processo fermentativo, é natural que se observe uma elevação da Acidez Total no vinho em relação ao mosto, pois durante a fermentação ocorre a produção de ácidos (BASSO et al., 2011). Esse padrão se mantém em todos os tratamentos, pois apresentaram um acréscimo em suas concentrações. Apesar disto, não houve diferenças estatísticas entre os valores médios encontrados (Figura 14.C).

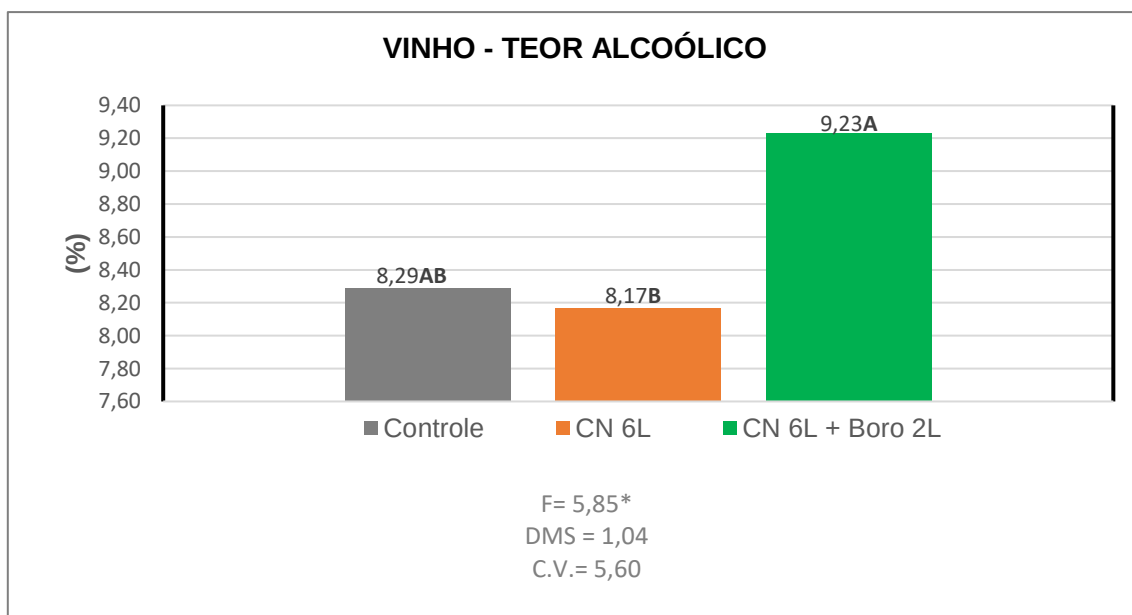
Figura 14 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para Açúcares Redutores Residuais Totais (ARRT), Teor de Glicerol e Acidez Total no vinho. Jaboticabal - SP. 2020.



CN 6L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional. CN 6L + Boro 2L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional associado à 2 L.ha⁻¹ de Boro. As médias seguidas de letras diferentes na mesma figura diferem pelo teste de Tukey. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ns não significativo ($p \geq 0,05$). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

Para Teor Alcoólico, a Figura 15 evidencia que o tratamento CN 6L+Boro 2L foi estatisticamente superior aos demais tratamentos, obtendo concentração superior ao Controle e CN 6L em 11,33 e 12,17%, respectivamente. Tais resultados, demonstram a possibilidade do aumento da produção de etanol através da utilização de complexo nutricional associado ao Boro, uma vez que tais ganhos quando colocados em escala industrial se tornam ainda mais expressivos.

Figura 15 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para Teor alcoólico no vinho. Jaboticabal - SP. 2020.

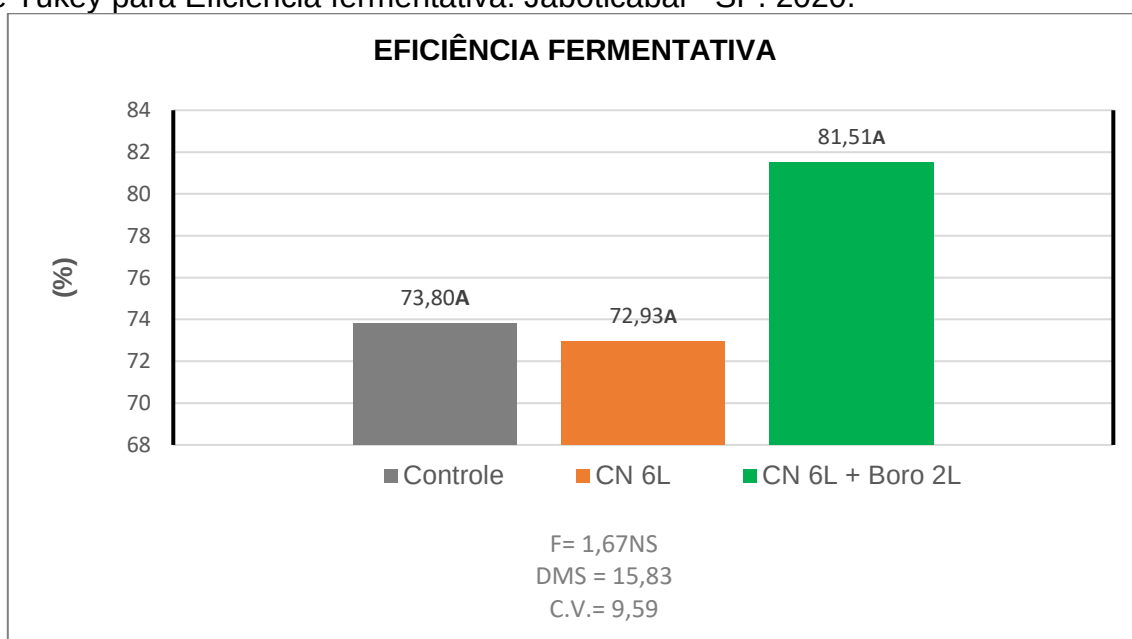


CN 6L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional. CN 6L + Boro 2L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional associado à 2 L.ha⁻¹ de Boro. As médias seguidas de letras diferentes na mesma figura diferem pelo teste de Tukey. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ns não significativo ($p \geq 0,05$). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

Quando se trata de processos industriais, a eficiência é um fator importante para todas as etapas de produção. Desta forma, garantimos que haja um melhor aproveitamento de todos os recursos desde a primeira etapa até a obtenção do produto final, pronto para ser comercializado.

Mesmo não diferindo estatisticamente, a Eficiência Fermentativa foi maior para o tratamento CN 6L+Boro 2L, ocorrendo um incremento de 10,44% em relação ao Controle. De acordo com Pacheco (2010), especialistas alertam que ganhos na eficiência fermentativa é um fator primordial para preços mais competitivos com o mercado internacional.

Figura 16 - Valores médios determinados e resultados da análise de variância e teste de Tukey para Eficiência fermentativa. Jaboticabal - SP. 2020.



CN 6L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional. CN 6L + Boro 2L = 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional associado à 2 L.ha⁻¹ de Boro. As médias seguidas de letras diferentes na mesma figura diferem pelo teste de Tukey. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ns não significativo ($p \geq 0,05$). CV = Coeficiente de variação. DMS = Diferença mínima significativa.

CONCLUSÕES

1. O uso de 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional associado à 2 L.ha⁻¹ de Boro, proporcionou maior Pureza Aparente, menor Turbidez e menor concentração de Compostos Fenólicos Totais no caldo extraído.

2. Em geral, o emprego do Complexo Nutricional via foliar, associado ou não ao Boro, obteve resultados melhores em comparação ao tratamento Controle após a etapa de clarificação do caldo, obtendo maior Pureza Aparente e menores valores de Turbidez, Teor de Amido e Compostos Fenólicos Totais.
3. O uso de 6 L.ha⁻¹ de Complexo Nutricional associado à 2 L.ha⁻¹ de Boro, impactou positivamente a produção de etanol. Sua utilização proporcionou menor concentração de Açúcares Redutores Residuais Totais (ARRT) no vinho e maior Teor Alcoólico e Eficiência Fermentativa em relação aos demais tratamentos testados, possibilitando um acréscimo significativo se utilizado em escala industrial.

REFERÊNCIAS

- AGROLINK. **Monsanto lança 3 variedades de cana-de-açúcar**. 2012. Disponível em: <<https://www.agrolink.com.br/noticias/monsanto-lanca-tres-variedades-de-cana-de-acucar.html>> . Acesso em 24 mar. 2021.
- AMORIM, H. V. **Fermentação alcoólica, ciência & tecnologia**. Fermentec: Piracicaba, 2006.
- AMORIM, H. V.; Fernandes, E. A. N.; Nepomuceno; M. F.; Trevizan, A. B. From potential to reality: yeasts derived from ethanol production for animal nutrition. **J Radioanal Nucl Chem**, v. 234, p. 113-118, 1998.
- BARBOSA, J.C.; MALDONADO JUNIOR, W. **Experimentação Agronômica & AgroEstat – Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agronômicos**. FUNEP: Jaboticabal, 2015.
- BARBUGLI, R. A. **Influência do ambiente construído na distribuição das temperaturas Araraquara/SP**. 2004. 171f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de São Carlos. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. São Carlos, 2004.
- BARIZI, D. **Manejo nutricional complementar de outono e os reflexos na qualidade da matéria-prima e produção de açúcar**. 37 f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônoma) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade estadual Paulista (Unesp), Jaboticabal, 2021.

BASSO, L. C.; BASSO, T. O.; ROCHA, S. N. **Ethanol Production in Brazil: The Industrial Process and Its Impact on Yeast Fermentation.** In: BERNARDES, M. A. S. *Biofuel Production: Recent Development and Prospects.* São Paulo: INTECH ebook, p. 85-100, 2011.

BRUNINI, R. G. **Índice de estresse hídrico na cultura de cana-de-açúcar, em superfícies irrigadas sobre diferentes exposições e declividades.** 2016. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista-Unesp, Jaboticabal, 2016.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar.** SAFRA 2020/21, terceiro levantamento, Brasília, v. 7, n. 3, p. 1-62, 2020.

CHAVAN, S. M.; KUMAR, A.; JADHAV, S. J. **Rapid quantitative analysis of starch in sugarcane juice.** *International Sugar Journal*, Glamorgan, v. 93, n. 107, p. 56-59, 1991.

CTC. **Manual de métodos de análises para açúcar.** Piracicaba, Centro de Tecnologia Canavieira, Laboratório de análises, 2005. Disponível em CD ROM.

DELGADO, A. A.; CESAR, M. A. A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana.** Sertãozinho: Zanini, v. 2, 752 p., 1977.

FERMENTEC. **Leveduras com habilidade melhorada que apresentam alta persistência e dominância.** Disponível em: <https://www.fermentec.com.br/capa.asp?p=259>. Acesso em 02 de dezembro de 2019.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar.** Piracicaba-SP, 2000, 193p.

FIGUEIRA, J. A.; CARVALHO, P. H.; SATO, H. H. **Sugarcane starch: quantitative determination and characterization.** *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.31, n. 3, p. 806-815, 2011.

FOLIN, O.; CIOCALTEU, V. **On tyrosine and tryptophane determinations in proteins.** *The Journal of Biological Chemistry*, v. 73, n.2, p.627-50, 1927.

GERENDÁS, J.; FÜHRS, H. The significance of magnesium for crop quality. **Plant and Soil**, London, v. 368, n. 1/2, p. 101-128, jan. 2013.

GODSHALL, M. A.; LEGENDRE, B. L.; CLARKE, M. A.; MIRANDA, X. M.; BLANCO, R. S. **Starch, polysaccharide and proanthocyanidin in Louisiana sugarcane varieties.** *International Sugar Journal*, v. 98. p. 144-148, 1994

Lane, J. H., & Eynon, L. (1934). **Determination of reducing sugars by Fehling's solution with methylene blue indicator**. London: Normam Rodge.

LEE, S. S.; ROBINSON, F. M.; WONG, H. Y. **Rapid determination of yeast viability. Biotechnology Bioengineering Symposium**, n.11, 1981.

LEITE, R. A. **Compostos fenólicos do colmo, bainha, folha e palmito da cana-de-açúcar**. 2000. 169 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

MADALENO, L.L. **Cigarrinha-das-raízes na cana-de-açúcar e qualidade do açúcar produzido**. 80 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade estadual Paulista (Unesp), Jaboticabal, 2010.

MARANGONI, F. F. **Boro e zinco no sulco de plantio na cultura da cana-de-açúcar**. 2016. 78 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2016.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Londres: Academic Press, 2012. 651 p.

MILLER, G. L. **Use of dinitrosalicylic acidre agent for dermination of reducing sugar**. Analytical Chemistry, 31, 1959 p. 426-428.

MOORE, P. H.; BOTHA, F. C. **Sugarcane: physiology, biochemistry, and functional biology**. Ames: Wiley & Sons, 2014. 765 p.

PACHECO, T. F. **Fermentação alcoólica com leveduras de características floculantes em reator tipo torre com escoamento ascendente**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

PACHECO, T. F. **Tecnologia industrial: sistema embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol sistema BRS1G – Tecnologia Qualidade Embrapa**. Sete Lagoas, MG, p. 92-106, 2012.

PAVANI, C. D.; ROVIERO, J. P.; FREITA, L. A.; COSTA, G. H. G.; MUTTON, M. J. R. Efeito da concentração de N, P, Mg, Mn e Zn sobre a fisiologia da levedura em fermentação. **Ciência & Tecnologia**, v. 5, 2013.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. Jaboticabal. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 407p.

RAVANELI, G. C.; GARCIA, D. B.; MADALENO, L. L.; MUTTON, M. A.; STUPIELLO, J. P.; MUTON, M. J. R. **Spittlebug impacts on sugarcane quality and ethanol production**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.46, n.2, p. 120- 129, 2011.

RIBEIRO, N. N.; FREITA, L. A.; TRALLI, L. F.; SILVA, A. F.; FREITA, C. M.; MENDES, F. Q.; TEIXEIRA, V.; SILVA JUNIOR, C. N.; MUTTON, M. J. R. Otimização das condições fermentativas de *Pichia membranifaciens* para produção de etanol de segunda geração. **Química Nova**, v. 42, n. 7, p 720-728, 2019.

SCHENEIDER, F. **Sugar Analysis ICUMSA methods**. Peterborough: ICUMSA,1979, p.265.

SILVA, D. P. N. **Caracterização bioecológica, sintomatologia, avaliação biométrica e tecnológica de cana-de-açúcar com infestação do ácaro *Schizotetranychus sacharum* (Acari: Tetranychidae)**. 53 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Entomologia Agrícola) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Jaboticabal, 2021.

SILVA, F. C.; MUTTON, M. J. R.; CÉSAR, M. A. A.; MACHADO Jr., G. R.; MUTTON, M. A.; STUPIELLO, J.P. **Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima**. In: SILVA, F. C.; ALVES, B. J. R.; FREITAS, P. L. (Org.). Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos. 1a.ed. Brasília: EMBRAPA, 2015, p. 288-359.

SIMIONI, K. R.; SILVA, L. F. L. F.; BARBOSA, V.; RÉ, F. E.; BERNARDINO, C. P.; LOPES, M. L.; AMORIM, H. V. **Efeito da variedade e época de colheita no teor de fenóis totais em cana-de-açúcar**. STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos, v. 24, p. 36-39, 2006.

SENAR - Serviço Nacional de Aprendizagem Rural de Goiás. **Curso - Cultivo e produção de cana-de-açúcar**. Goiás: EAD- SENAR GOIÁS, 2018.

TASSO JUNIOR, L. C.; SILVA, J. D. R.; SILVA NETO, H. F.; MARQUES, D.; MARQUES, M. O. Variação na acidez do caldo de cultivares de cana-de-açúcar aptas para o corte no meio de safra. **Enciclopédia Biosfera**, v.6, n.11, 2010.

VAZQUEZ, G. H.; SANCHEZ, A. C. **Formas de aplicação de micronutrientes na cultura da cana-de-açúcar**. Nucleus, Ituverava, v. 7, n. 1, p. 267-276, abr. 2010.

WILSON, L. G. Metabolism of sulfate reduction. **Annual Review of Physiology**, Palo Alto, v. 13, p. 201-224, 1962.

YARA BRASIL. **Resumo nutricional da cana-de-açúcar**. Disponível em: <https://www.yarabrasil.com.br/conteudo-agronomico/blog/resumo-nutricional-da-cana-de-acucar/>. Acesso em 02 de Setembro de 2019.