



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Biociências de Botucatu
Campus Botucatu - SP

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS DE BOTUCATU, CAMPUS BOTUCATU

VITÓRIA DUARTE ALMEIDA

**VARIAÇÃO ISOTÓPICA DO CARBONO-13 DOS SUBPRODUTOS DA
CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZADOS NA AUTENTICIDADE DE
FERMENTADOS ACÉTICOS E BEBIDAS ALCÓOLICAS**

BOTUCATU
2023

VITÓRIA DUARTE ALMEIDA

**VARIAÇÃO ISOTÓPICA DO CARBONO-13 DOS SUBPRODUTOS DA
CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZADOS NA AUTENTICIDADE DE
FERMENTADOS ACÉTICOS E BEBIDAS ALCÓOLICAS**

Monografia apresentada à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Biociências, Campus Botucatu, como parte dos requisitos para conclusão do curso de graduação em Física Médica.

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Eliodoro Costa

BOTUCATU
2023

A447v	Almeida, Vitória Duarte Varição isotópica do Carbono-13 da cana-de-açúcar utilizados na autenticidade de fermentados acéticos e bebidas alcólicas / Vitória Duarte Almeida. -- Botucatu, 2023 15 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Física Médica) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, Botucatu Orientador: Vladimir Eliodoro Costa 1. Isótopos estáveis. 2. Carbono 13. 3. Cana-de-açúcar derivados. 4. Adulteração de alimentos. I. Título.
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho para todas as mulheres cientistas nesse Brasil.

À minha mãe Sandra, meu pai Alexandre e minha avó Alina que são os meus exemplos e a base da minha vida.

Aos meus amigos, em especial Ana Júlia, Letícia e Lorraine, que fizeram esses 4 anos de graduação serem mais leves.

Aos meus professores que fizeram parte dessa jornada e me auxiliaram na minha formação moral e profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Vladimir Eliodoro Costa e ao grupo de pesquisa composto por: Samuel Gimenes, Vitor Hugo e Davi Augusto. Sem o auxílio de todos, não seria possível realizar este trabalho.

Meus agradecimentos à minha família e amigos pelo apoio emocional e psicológico durante todo esse período.

Ao Centro de Isótopos Estáveis pela estrutura e auxílio nessa pesquisa.

À Unesp de Botucatu e ao Instituto de Biociências de Botucatu por toda estrutura fornecida nesses 4 anos de graduação.

À PIBIC CNPq pelo apoio financeiro.

Resumo

A cana-de-açúcar é uma planta pertencente à família das gramíneas (Poaceae), gênero *Saccharum* e espécie *Saccharum officinarum* e é utilizada como matéria-prima do açúcar, do etanol e do fermentado acético. A produção de cana-de-açúcar se destaca no Brasil com a primeira atividade econômica no setor agroindustrial do país. Os subprodutos da cana-de-açúcar podem ter várias aplicações. A análise isotópica é uma metodologia utilizada para verificar a origem da matéria-prima ou até a região geográfica de uma certa amostra. Por exemplo, a assinatura isotópica do carbono, representada por $\delta^{13}\text{C}$, investiga a origem botânica. As plantas possuem diferentes ciclos fotossintéticos: C3 (Ciclo Calvin), C4 (Rota Hatch-Slack) ou CAM (Metabolismo Ácido das Crassuláceas) e a cana-de-açúcar utiliza como via fotossintética C4, apresentando maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$ (-8‰ a -16‰) do que a C3 e apresenta valores menores (-22‰ a -34‰). Os processos das biorrefinarias da cana podem apresentar algum tipo de fracionamento do $\delta^{13}\text{C}$ entre a cana-de-açúcar e seus subprodutos. Vários fatores podem influenciar na mudança do valor isotópico da cana de açúcar e de seus subprodutos, como radiação solar, umidade, salinidade do solo, temperatura e pluviosidade ao longo do ano. Para as análises de autenticidade de produtos de plantas C3 com adição de plantas C4, é necessário um valor médio com sua variação atualizada. Assim, os objetivos deste estudo foram caracterizar e analisar a variação dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ de açúcares, álcoois e fermentados acéticos. Os materiais utilizados para a realização do trabalho foram álcoois (n=20), fermentado acético (n=11) e açúcares (n=24) de diferentes marcas e origem geográficas. Para as amostras de açúcar foi necessário homogeneizar a alíquota com moinho criogênico (Spex CertiPrep 6750 Freezer/Mill). Já para as amostras líquidas foi necessário realizar a destilação criogênica à vácuo. Posteriormente, as amostras sólidas foram pesadas (0,1 mg) em cápsula de estanho e as amostras líquidas em adicionadas em vials de 2 mL. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ foi obtido em um sistema de Espectrometria de Massa de Razões Isotópicas a partir da razão isotópica do Carbono $R(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{Amostra}}$. Os resultados evidenciaram que as amostras eram de origem C4 e C3. Para as amostras de origem C4 o valor isotópico varia entre -11,39‰ até -13,76‰ para os açúcares do tipo demerara e para os vinagres respectivamente. Já para as amostras de origem C3 o valor isotópico varia entre -26,67‰ até -27,08‰ para álcool de cereais e para fermentados acéticos de maçã respectivamente. Portanto, conclui-se que existe um fracionamento isotópico dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ dos subprodutos das plantas com ciclo de carbono C4 e C3. Também foi possível caracterizar os subprodutos da cana-de-açúcar para eventuais análises de autenticidade entre produtos C3 e C4.

Palavras-chaves: isótopos estáveis; carbono 13; cana-de-açúcar e derivados; adulteração de alimentos.

Abstract

Sugarcane is a plant belonging to the grass family (Poaceae), genus *Saccharum*, and species *Saccharum officinarum*. It is used as a raw material for sugar, ethanol, and acetic fermented products. Sugarcane production is prominent in Brazil, serving as the primary economic activity in the country's agro-industrial sector. Sugarcane by-products have various applications. Isotopic analysis is a methodology used to determine the origin of raw materials or even the geographic region of a particular sample. For instance, the isotopic signature of carbon, represented by $\delta^{13}\text{C}$, investigates botanical origin. Plants have different photosynthetic cycles: C3 (Calvin Cycle), C4 (Hatch-Slack Pathway), or CAM (Crassulacean Acid Metabolism). Sugarcane utilizes the C4 photosynthetic pathway, exhibiting higher $\delta^{13}\text{C}$ values (-8‰ to -16‰) compared to C3 and lower values (-22‰ to -34‰). Bioraffineries' processes for sugarcane may result in some $\delta^{13}\text{C}$ fractionation between sugarcane and its by-products. Various factors can influence changes in the isotopic value of sugarcane and its by-products, such as solar radiation, humidity, soil salinity, temperature, and rainfall throughout the year. For authenticity analyses of C3 plant products with the addition of C4 plants, an average value with updated variation is necessary. Thus, the objectives of this study were to characterize and analyze the variation in $\delta^{13}\text{C}$ values of sugars, alcohols, and acetic fermented products. The materials used for the study were alcohols (n=20), acetic fermented products (n=11), and sugars (n=24) from different brands and geographical origins. For sugar samples, it was necessary to homogenize the aliquot with a cryogenic mill (Spex CertiPrep 6750 Freezer/Mill). For liquid samples, cryogenic vacuum distillation was necessary. Subsequently, solid samples were weighed (0.1 mg) in tin capsules, and liquid samples were added to 2 mL vials. The $\delta^{13}\text{C}$ values were obtained using an Isotope Ratio Mass Spectrometry system from the isotopic ratio of Carbon R($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) Sample. The results showed that the samples originated from both C4 and C3 sources. For C4-origin samples, the isotopic value ranged from -11.39‰ to -13.76‰ for demerara sugars and respective vinegars. For C3-origin samples, the isotopic value ranged from -26.67‰ to -27.08‰ for cereal alcohol and apple acetic fermented products, respectively. Therefore, it is concluded that there is isotopic fractionation of $\delta^{13}\text{C}$ values in the by-products of plants with C4 and C3 carbon cycles. It was also possible to characterize sugarcane by-products for potential authenticity analyses between C3 and C4 products.

Keywords: stable isotopes; carbon 13; sugar cane and derivatives; food adulteration.

	Sumário	
Resumo		5
Abstract		6
1. Introdução		8
2. Objetivo		9
3. Material e Métodos		9
4. Resultados e Discussões		10
5. Conclusão		14
6. Referências bibliográficas		14

1. Introdução

A cana-de-açúcar pertencente à família das gramíneas (Poaceae) e especificamente no gênero *Saccharum*, espécie *Saccharum officinarum*, representa uma fonte de potencialidades de matéria-prima para a produção de açúcar, etanol e vinagre. Sua relevância na economia brasileira é inquestionável, uma vez que a produção de cana-de-açúcar é a principal atividade econômica do setor agroindustrial do país. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), somente em 2021, foram plantadas impressionantes 715.659.212 toneladas dessa planta.

Os subprodutos da cana-de-açúcar desempenham papéis diversificados. O álcool, por exemplo, é usado como conservante de alimentos, desinfetante e como solvente em produtos cosméticos, perfumes e medicamentos, entre outras aplicações¹. O vinagre, por sua vez, encontra seu lugar tanto no tempero de saladas quanto na higienização de leguminosas e vegetais. Enquanto isso, o açúcar assume diversas funções, como adoçante e matéria-prima na produção de balas, feitos e refrigerantes.

A análise isotópica é uma metodologia analítica que tem sido aplicada para o controle de autenticidade de produtos, como bebidas alcoólicas, sendo possível identificar adulterações. Pode-se utilizar para verificar a origem da matéria-prima ou até mesmo região geográfica. Por exemplo, a assinatura isotópica do carbono, representada por $\delta^{13}\text{C}$, investiga a origem botânica. As plantas possuem diferentes processos fotossintéticos: C3 (Ciclo Calvin), C4 (Rota Hatch-Slack) ou CAM (Metabolismo Ácido das Crassuláceas). A principal diferença entre os processos fotossintéticos é o fracionamento do gás carbônico, fazendo com que modifique o valor da assinatura isotópica do carbono-13. Enquanto para as plantas do Ciclo Calvin (C3) o valor de $\delta^{13}\text{C}$ varia entre -22‰ a -34‰, para as plantas da Rota Hatch-Slack (C4) o valor isotópico do carbono 13 varia entre -8‰ a -16‰².

Entretanto, nos últimos 20 anos, a literatura apresentou uma diminuição de cerca de -3,10‰ nos valores variação isotópica dos açúcares. Em 2001, a Instrução Normativa 4 do MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA) fixou como valor médio da variação isotópica dos açúcares como -11,46‰ e de fermentado acético de cana em -13,28‰³. Porém, ao passar os anos, outro estudo com sucos de laranja em 2005, o valor foi -12,30‰⁴ com sucos e polpas de caju em 2011 foi de -12,98‰⁵ e com suco de goiaba em 2017 foi de -13,11‰⁶. Em estudo de 2019, apresentou um valor médio da variação isotópica como -14,20‰⁷. E em estudo mais recente de valores isotópicos de comidas e

bebidas realizados em 2020 demonstrou que a variação dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ para as plantas C3 foram de $-30,7$ até $-22,5\%$, enquanto para as plantas C4 a variação foi entre $-14,2$ até $-10,2\%$ ⁸.

Essa diminuição nos valores isotópicos de carbono-13 dos açúcares nesses últimos anos pode ser explicada por diversos fatores ambientais como radiação, umidade, salinidade do solo, temperatura e pluviosidade⁹. Porém, ainda não foi analisada uma relação entre os subprodutos da cana-de-açúcar; se há ou não um fracionamento isotópico de carbono-13. Como visto anteriormente, alguns fatos podem influenciar e levar a mudanças no valor isotópico dos subprodutos da cana. Assim, para futuras análises de autenticidade de produtos de plantas C3 com adição de plantas C4, é necessário um valor médio com sua variação atualizada.

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho foi caracterizar e analisar a variação dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ de açúcares, álcoois e fermentados acéticos.

3. Materiais e Métodos

Amostras analisadas

Os materiais utilizados foram açúcares ($n=24$), álcoois ($n=20$) e fermentados acéticos ($n=11$) de origem da cana-de-açúcar, cereais e maçãs. Todas as amostras foram compradas em supermercados, de diferentes marcas e origem geográfica. Cada amostra foi identificada, em um banco de dados, com seu respectivo lote e local de fabricação. As amostras foram separadas em subgrupos. Para as amostras de açúcares foram separadas entre o tipo de refinamento (demerara, refinado e cristal) e para as amostras de álcoois foram separadas entre o tipo de diluição (70°INPM , 46°INPM) e em combustível

Preparação das amostras

As amostras de açúcares, consideradas sólidas, passaram por um processo de moagem criogênica com nitrogênio líquido (Spex Prep 6750 Freezer/Mill) três minutos, a uma temperatura de -196°C , a fim de obter um material homogêneo com textura fina ($\leq 65 \mu\text{m}$). No caso das amostras líquidas, como álcool e fermentados acéticos, foram submetidas à destilação criogênica para remover todas as impurezas. Posteriormente, as amostras sólidas

foram acondicionadas em cápsulas de estranho com massa entre 0,10 e 0,12 mg, e as amostras líquidas foram pipetadas 0,5µL em cápsula de estranho com “*chromosorb*” (aproximadamente 0,20 mg) para evitar evaporação da amostra líquida. As capsulas foram submetidas a análises isotópicas.

Análise isotópica

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ são obtidos a partir de um Sistema de Espectrometria de Massa de Razão Isotópica por fluxo contínuo (CF-IRMS). O sistema consiste em um IRMS acoplado à um analisador elementar (Flash 2000 – Delta V, Thermo Scientific) onde as amostras nas capsulas são convertidas em CO_2 por combustão e determinadas as razões isotópicas do carbono $R(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})$ do gás. Os resultados são expressos em diferença relativa da razão isotópica da amostra em relação a razão isotópica do padrão internacional Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB) conforme a equação 1.

$$\delta^{13}\text{C}(\text{‰}) = \frac{R\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}\right)_{\text{amostra}} - R\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}\right)_{\text{VPDB}}}{R\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}\right)_{\text{VPDB}}} \quad (1)$$

A incerteza analítica do CF-IRMS para determinação dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ foi estimada em 0,10‰ (n=10). Foi utilizado os padrões USGS90 ($\delta^{13}\text{C} = -13,75 \pm 0,06\text{‰}$) e USGS91 ($\delta^{13}\text{C} = -28,28 \pm 0,08\text{‰}$) para normalização dos resultados.

4. Resultados e Discussões

Por meio da IRMS, foi possível analisar e caracterizar a variação nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ de açúcares, álcoois e fermentados acéticos em um conjunto de 55 amostras. Os resultados obtidos foram categorizados com base na matéria-prima da amostra, distinguindo-se entre plantas C3 (como maçã e cereais) e plantas C4 (como a cana-de-açúcar).

Na figura 1, é possível visualizar a distribuição de todas as amostras provenientes de plantas C4. Observa-se que, dentre os três produtos provenientes da cana-de-açúcar submetidos à análise, os açúcares apresentaram o valor mais elevado, seguindo a ordem decrescente de demerara, cristal e refinado. Os álcoois e fermentados acéticos manifestaram os valores mais baixos. Além da figura ser representada em formato de box-plot, é possível visualizar uma curva de dispersão para cada subgrupo. A maioria das amostras exibiram valores próximos, indicando uma dispersão reduzida, com exceção do etanol 46° e do

fermentados acéticos que apresentaram um *outliers* cada. No entanto, para os fermentados acéticos, a dispersão entre as amostras demonstrou um valor elevado.

É possível observar que para os diferentes tipos de refinamento do açúcar há uma modificação nos valores isotópicos $\delta^{13}\text{C}$. Para o açúcar demerara, que é considerado dos tipos de açúcar um dos menores que passam por um refinamento o valor isotópico encontrado é alto em comparação aos tipos de açúcares que passam por um maior refinamento com adição de aditivos químicos (refinado e cristal).

Nota-se também uma discrepância de 1‰ entre os açúcares cristais, os vinagres e os álcoois. Essa variação de 1 por mil é um indicativo da relação entre os subprodutos da cana-de-açúcar e a diferença no fracionamento isotópico durante o processo de refinamento e fermentação. As possíveis hipóteses para a diminuição nos valores isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ nas amostras analisadas de álcoois e fermentados acéticos são as leveduras e a liberação de CO_2 que ocorre na fermentação acética (que traz como produto o fermentado acético) e na fermentação alcoólica (que traz como produto o álcool).

Já na figura 2, é possível visualizar a distribuição de todas as amostras provenientes de plantas C3.

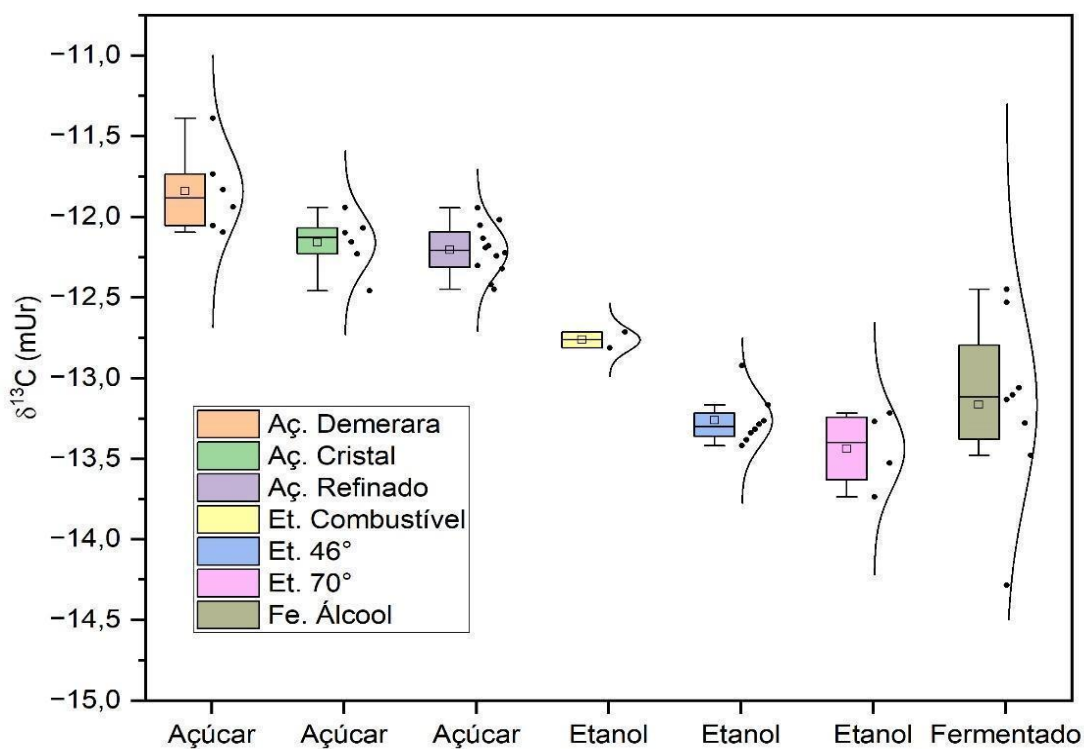


Figura 1: Distribuição dos valores isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ das amostras de matriz de cana-de-açúcar (plantas C4). Linha da curva: distribuição normal; barra: 95%; box: 75%; linha no box: mediana; quadrado no box: média.

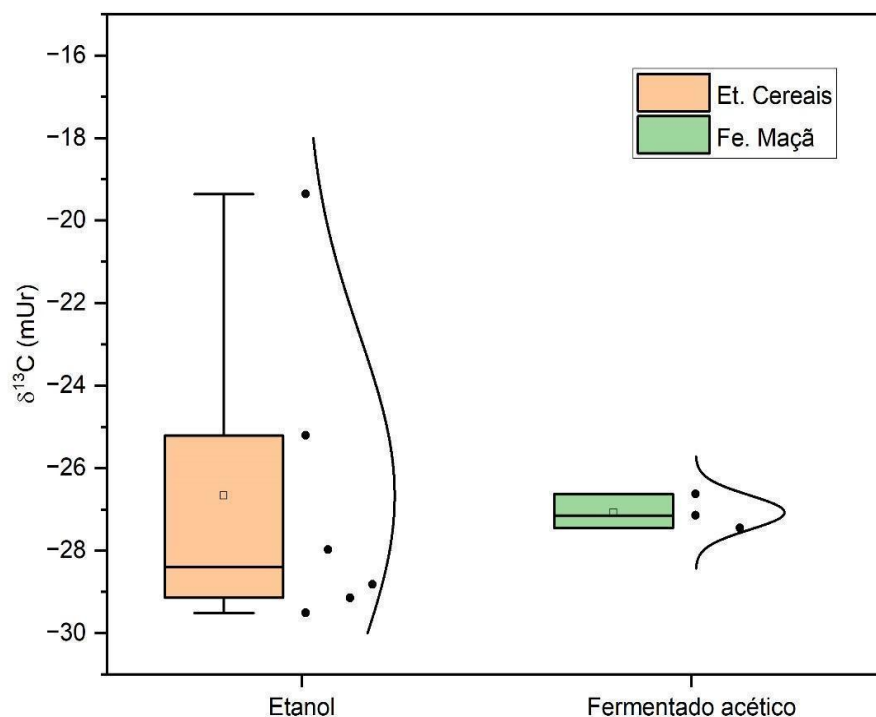


Figura 2: Distribuição dos valores isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ das amostras de matriz de cereais e maçã (plantas C3). Linha da curva: distribuição normal; barra: 95%; box: 75%; linha no box: mediana; quadrado no box: média.

Dentre os produtos analisados anteriormente, foi possível obter amostras apenas da matriz C3, nas formas de etanol (álcool de cereais) e fermentados acéticos (vinagre de maçã). Os valores isotópicos das amostras de álcoois apresentaram valores superiores às amostras de fermentados acéticos. Além disso, a faixa de variação dos valores isotópicos para o etanol foram substancialmente maiores em comparação com a faixa mais restrita observada nos vinagres.

Similar à Figura 1, a Figura 2 apresenta um gráfico em formato de box-plot, complementado por uma curva de dispersão para cada tipo de amostra. Nota-se que, para os fermentados acéticos, a curva de dispersão é reduzida, indicando uma consistência mais estreita nos valores isotópicos. Por outro lado, a curva de dispersão associada ao etanol é mais ampla, sugerindo uma maior variabilidade nos dados.

Já para os subprodutos das plantas C3 é também possível perceber a mesma diferença do valor isotópico das amostras que passaram pelo processo de fermentação alcoólica e fermentação acética; sendo essa diferença um pouco menor que 1‰. Não foi possível fazer a mesma correlação com os subprodutos da cana-de-açúcar pois não foi analisado algum substituto do açúcar (que passa pelo processo de refinamento) com origem de planta C3.

Ao analisar os dois gráficos apresentados anteriormente, observa-se que eles formam uma sequência contínua. Para facilitar as análises individuais das amostras, não foi possível juntar, pois a região de valor maior ficaria muito pequena. Dessa forma, a ordem decrescente dos valores isotópicos das plantas de origem C4 é a seguinte: açúcares, álcoois e fermentados acéticos. Para os produtos de origem C3, a ordem decrescente é composta por álcoois, seguidos pelos fermentados acéticos.

Neste estudo foi proposto analisar e caracterizar a variação isotópica de produtos cujas matérias-primas eram conhecidas. No entanto, durante as análises, observou-se que dois grupos apresentaram dispersão altas na curva de distribuição e desvios padrão significativamente elevados: o etanol de cereais e o fermentado acético de cana. Ao analisar cada amostra individualmente, identificaram-se dois valores notavelmente dispersos em relação às demais, sugerindo a possibilidade de adulteração nos produtos.

Na Tabela 1 exibe os tipos de amostras investigadas neste estudo, juntamente com suas quantidades associadas, bem como os valores médios e desvios-padrão correspondentes.

Tabela 1. Média e desvio-padrão das amostras analisada (n=55)

Amostra	Matriz	n	$\delta^{13}\text{C}$ (mUr)
Açúcar Demerara	Cana	6	-11,84 $\pm$ 0,26
Açúcar Cristal	Cana	6	-12,16 $\pm$ 0,17
Açúcar Refinado	Cana	12	-12,21 $\pm$ 0,15
Etanol Combustível	Cana	2	-12,76 $\pm$ 0,07
Etanol 46° INPM	Cana	8	-13,26 $\pm$ 0,16
Etanol 70° INPM	Cana	4	-13,44 $\pm$ 0,24
Fermentado acético	Cana	8	-13,77 $\pm$ 0,57
Etanol	Cereais	6	-26,67 $\pm$ 3,90
Fermentado acético	Maçã	3	-27,08 $\pm$ 0,22

Ao discorrer sobre os valores atribuídos a cada amostra, é possível observar, por meio da tabela apresentada, que os açúcares apresentaram valores isotópicos variando de -11,39‰ a -12,46‰. No caso dos etanóis de cana, os valores situam-se entre -12,50‰ e -13,74‰, enquanto para o fermentado acético, a faixa foi de -12,45‰ até -14,29‰. No contexto dos subprodutos de plantas C3, os valores isotópicos para os etanóis estiveram próximos a -19,36‰ até 29,51‰, enquanto para os fermentados acéticos, situam-se entre -26,63‰ até -27,46‰.

Observe-se que a média dos açúcares cristalizados e refinados é de -12,18‰, enquanto a média para os álcoois de cana gira em torno de -13,35‰. No caso dos fermentados acéticos, a média situa-se na faixa de -13,77‰. Desse modo, é óbvia uma diferença de 1‰ entre os açúcares e álcoois, um pouco mais de 1‰ entre os fermentados acéticos e açúcares, e menos de 1‰ para os fermentados acéticos em relação aos álcoois. Por conseguinte, é factível que essas relações permitiram a comparação afundo da caracterização dos produtos fermentados e refinados.

5. Conclusão

Portanto, conclui-se que há um fracionamento isotópico entre os subprodutos da cana-de-açúcar. Também é possível notar que os valores isotópicos entre as plantas C3 e C4 são diferentes.

6. Referências bibliográficas

- [1] ISHIDA-FUJII, Keiko et al; Botanical and geographical origin identification of industrial ethanol by stable isotope analyses of C, H, and O. **Bioscience, biotechnology, and biochemistry**, v. 69, n. 11, p. 2193-2199, 2005.
- [2] WEIGT, M et al; EA-IRMS: Testing sugar package label claims using carbon isotope fingerprints; **ThermoFisher Scientific**, 2017.

- [3] BRASIL; Instrução normativa 4 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília**, 8 de fevereiro de 2001. Seção 1, nº28, p. 3.
- [4] QUEIROZ E. C.; Utilização dos isótopos estáveis de carbono e nitrogênio na detecção de adulteração e avaliação energética de bebidas de laranja; 2005. ix, 73 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2005.
- [5] FIGUEIRA, R. et al; Análise isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) e legalidade em suco e polpa de caju; **Brazilian Journal of Food Technology**; v.14, n.4, p.317-324, 2011.
- [6] NOGUEIRA, A. et al; Análise isotópica do carbono e legalidade de polpas, sucos tropicais e néctares comerciais de goiaba; **Boletim centro de pesquisa de processamento de alimentos**; v.34, n.2, 2016.
- [7] IMAIZUMI, Vitor Massami et al. Use of stable isotopes of carbon to detect coconut water adulteration. **Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)**, Piracicaba, v. 76, n. 3, p. 261-265, May 2019.
- [8] MARTINELLI, L.A et al; Razões isotópicas de carbono e nitrogênio em alimentos e bebidas no Brasil. **Molecules**, 2020.
- [9] BOUTTON, T. W; Razões estáveis de isótopos de carbono da matéria orgânica e seu uso como indicadores de vegetação e mudanças climáticas; **Espectrometria de Massa de Solos**, 1996.