

































































































































### 5.2.2 Alumínio (Al)

A concentração de Al variou em diferentes tipos de açúcares das regiões Sul ( $0,73 \pm 0,07 - 9,81 \pm 0,66$  mg/80g), Sudeste ( $1,76 \pm 0,21 - 4,14 \pm 1,84$  mg/80g), Centro-Oeste ( $1,51 \pm 0,16 - 11,6 \pm 0,59$  mg/80g), Norte ( $0,10 \pm 0,01 - 9,81 \pm 0,20$  mg/80g) e Nordeste ( $1,40 \pm 0,77 - 4,66 \pm 0,93$  mg/80g), respectivamente.

As concentrações de Al variaram de 0,40 a 3,6 mg/kg em sete amostras de açúcares mascavo e, portanto, apresentaram-se menores que os nossos resultados (ZHU, 2020). A Agência dos EUA para Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças (ATSDR) estabelece que ingestão tolerável é de 1 mg/kg/dia (ATSDR, 2008). Portanto, considera-se que o teor de Al nas amostras analisadas no presente estudo, estão acima do limite tolerável.

Nos alimentos, uma das principais fontes de Al estão nos aditivos e corantes alimentares (GANHOR, 2024). Efeitos adversos a saúde estão relacionados à exposição ao Al, como alterações reprodutivas (ALI, 2024), pulmonares, mamárias, ósseas (KLEIN, 2019), do sistema imunológico e do sistema nervoso central (INAN-EROGLU, 2018; ZHANG, 2022).

### 5.2.3 Arsênio (As)

A concentração de As nos açúcares analisados variou de  $0,09 \pm 0,01 - 0,11 \pm 0,01$  mg/80g;  $0,10 \pm 0,003 - 0,12 \pm 0,02$  mg/80g;  $0,09 \pm 0,004 - 0,12 \pm 0,003$  mg/80g;  $0,08 \pm 0,004 - 0,11 \pm 0,01$  mg/80g e  $0,10 \pm 0,01 - 0,11 \pm 0,01$  mg/80g, nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, respectivamente.

Não há estudos que quantifiquem a concentração de As em açúcares. No entanto, o As pode estar presente nos solos de cultivo da cana-de-açúcar. Na China, devido a práticas de mineração e uso prolongado de pesticidas o teor de As no solo variou de 2,39 a 6 mg/kg (MTEMI, 2023). Os autores sugerem que a contaminação do solo pode ocorrer devido aos tratamentos agrícolas, água de irrigação e variações entre cada local de cultivo, impactando a composição da planta e do produto final (MTEMI, 2023).

Ainda não há um valor seguro para a ingestão de As. No entanto, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) apresenta um limite máximo tolerável de

0,10 mg/kg de arsênio para açúcares (ANVISA, 2021). Portanto, nossos achados estão acima do limite tolerável. Uma exposição crônica mesmo a baixos níveis de As podem acarretar em riscos à saúde humana como o desenvolvimento de vários tipos de câncer, incluindo o de pele, bexiga, rins e pulmões (ENGWA, 2019; FATEMA, 2021) e influenciar nas doenças cardiovasculares, hipertensivas e ateroscleróticas (KAUR, 2023).

#### 5.2.4 Bário (Ba)

Os resultados obtidos para Ba em AM foram  $0,10 \pm 0,01$  mg/80g;  $0,12 \pm 0,03$  mg/80g;  $0,05 \pm 0,001$  mg/80g;  $0,01 \pm 0,002$  mg/80g; e  $0,03 \pm 0,001$  mg/80g nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, respectivamente. O AD da Região Nordeste apresentou teor de Ba de  $0,04 \pm 0,002$ . Os demais açúcares apresentaram valores abaixo do limite de detecção (<LOD).

Diferenças significativas foram limitadas à Região Sul, onde a Região Sul apresentou menores teores de Ba quando comparada às demais regiões. A quantificação de Ba em produtos derivados da cana-de-açúcar, o teor de Ba variou de 0,46 a 0,99 mg/kg, apresentando-se semelhantes aos resultados deste estudo (SAMPAIO, 2020). O limite de ingestão tolerável de Ba estabelecido pela Agência de Registro de Substâncias Tóxicas e Doenças (ATSDR) e a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) é de 0,2 mg/kg/dia para a população adulta (ÍRIS, 2005; ATSDR, 2008).

A presença de Ba nos alimentos se dá pela contaminação da água, legumes, castanhas e frutos do mar (GONZÁLEZ-WELLER, 2013; SILVA JÚNIOR, 2022). No organismo humano, o Ba não possui papel benéfico e portanto, os efeitos pela exposição crônica ao Ba pode acarretar em hipocalcemia, paralisia muscular, insuficiência respiratória e alterações no sistema reprodutivo e cardiovascular (ÍRIS, 2005; PI, 2019).

#### 5.2.5 Cálcio (Ca)

Os resultados para o teor de Ca nos diferentes tipos de açúcares das regiões Sul e Sudeste variaram de  $0,21 \pm 0,004$  –  $43,6 \pm 1,68$  mg/80g e  $1,33 \pm 0,04$  –  $95,5 \pm$

12,7 mg/80g, respectivamente. Na região Centro-Oeste, a variação na concentração de Ca foi de  $0,42 \pm 0,04$  –  $85,17 \pm 3,21$  mg/80g, exceto para AD, que apresentou concentração  $< \text{LOD}$ . Nas regiões Norte e Nordeste, o teor de Ca variou de  $0,71 \pm 0,20$  –  $25,22 \pm 1,97$  mg/80g e  $1,13 \pm 0,50$  –  $54,7 \pm 0,79$  mg/80g, respectivamente.

Em amostras comerciais e experimentais de rapadura as concentrações de Ca foram maiores (1323,5 a 2569,7 mg/kg) (GUERRA, MUJICA, 2010). Outros estudos apontaram semelhanças aos nossos achados, como Alves et al. (2024) que encontraram uma variação de 110 a 3.000 mg/kg de Ca em amostras de açúcar mascavo de diferentes Regiões do Brasil. Lee et al. (2018) encontraram níveis de Ca que variaram de 19,95 a 2732,2 mg/kg em diferentes tipos de açúcares.

Em amostras de AM provenientes do comércio da China, os teores Ca variaram de 894 a 5525 mg/kg (ZHU, 2020). Em diferentes Estados do Brasil e em Portugal foram encontrados níveis de Ca que variaram de 124 a 3.851 mg/kg em amostras de AM (SANTOS et al., 2019). Em amostras de açúcar não refinado provenientes do Japão, Malásia, Indonésia e Vietnã as concentrações de Ca variaram de 380 a 2346 mg/kg (AYUSTANINGWARNO, 2023).

Diferentemente dos nossos resultados, no açúcar branco não foram detectados níveis de Ca (OKOMA et al., 2020). De acordo com Dietary Reference Intakes (DRI) o nível máximo de ingestão de Ca pode variar de 2.000 a 2.500 mg/dia conforme gênero, faixa etária e a depender da Região do mundo (ROSS, 2011; EFSA, 2015).

Nos alimentos, o Ca está presente em produtos lácteos, frutas, vegetais, grãos, ovos, carnes e produtos de panificação (LO, 2024). O Ca possui funções biológicas importantes, no sistema sanguíneo, digestivo, endócrino, neurológico e esquelético. A deficiência de Ca pode acarretar em doenças como osteoporose, raquitismo em crianças e influenciar nas alterações hipertensivas (SHLISKY, 2022).

#### 5.2.6 Cádmio (Cd)

As concentrações de Cd nas amostras analisadas foram de  $0,002 \pm 0,001$  -  $0,01 \pm 0,001$  mg/80g;  $0,004 \pm 0,001$  -  $0,01 \pm 0,000$  mg/80g;  $0,002 \pm 0,001$  -  $0,01 \pm 0,000$  mg/80g;  $0,004 \pm 0,001$  -  $0,01 \pm 0,001$  mg/80g; e  $0,004 \pm 0,000$  -  $0,01 \pm 0,001$  mg/kg nos diferentes tipos de açúcares das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, respectivamente.

No estudo de Silva et al. (2016), foi identificado concentrações médias de Cd maiores que os nossos achados ( $1,9 \pm 0,8\text{mg/kg}$ ) nos solos do Nordeste Brasileiro. Em amostras de açúcar mascavo foram encontradas níveis menores de Cd e que variaram de 0,0045 a 0,007 mg/kg (SANTOS, 2018). Segundo a FAO/OMS, 2011, o limite tolerável de ingestão semanal de Cd é de 0,007 mg/kg, sendo assim, no presente estudo, as amostras analisadas estiveram maiores que o recomendado.

Na dieta, o Cd está presente em maiores quantidades nos vegetais folhosos, oleaginosas e sementes devido ao uso de fertilizantes (SCHAEFER, 2020). Na China, há um nível elevado de Cd no cultivo de arroz por conta da presença de lixo eletrônico (ZHANG, 2013). Efeitos adversos à saúde pela ingestão de Cd está associado à hipertensão e alterações renais e pulmonares (SCHAEFER, 2020; WANG, 2024). Fumantes também apresentaram risco de desenvolvimento de doenças cardíacas mediada pelo Cd (LI, 2019).

#### 5.2.7 Cobalto (Co)

O único elemento que apresentou concentração <LOD em todos os tipos de açúcares das cinco Regiões estudadas foi o Co.

#### 5.2.8 Cromo (Cr)

O teor de Cr no AM foi de  $0,01 \pm 0,002\text{ mg/80g}$ ;  $0,01 \pm 0,004\text{ mg/80g}$ ;  $0,01 \pm 0,001\text{ mg/80g}$ ; e  $0,002 \pm 0,001 - 0,01 \pm 0,003\text{ mg/80g}$  para as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Norte, respectivamente. Os demais açúcares apresentaram concentrações < LOD.

Azlan et al. (2020) encontraram concentrações maiores (0,9 a 1,79 mg/kg) de Cr em açúcares mascavo e refinado. No entanto, concentrações menores de Cr foram encontradas em açúcar mascavo variando de 0,03 a 0,16 mg/kg (SANTOS, 2018). Iqbal et al. (2017), compararam diferentes tipos de açúcares e observaram que a presença de Cr foi maior no AM quando comparado a outros tipos de açúcares provenientes de vinte usinas de açúcar. A ingestão adequada de cromo é de 25 e 35 µg/dia para mulheres e homens adultos, respectivamente. No entanto, nenhum limite

superior de ingestão tolerável (UL) seguro foi ainda definido para consumo humano (USDA, 2021).

O Cr está presente nos alimentos devido a contaminação da água, solos e plantações (CHEN, 2022). No organismo humano, o Cr atua no metabolismo de carboidratos, proteínas e lipídios, doses controladas podem beneficiar pessoas com diabetes, melhorar a função cognitiva e auxiliar no controle do peso corporal (ASBAGHI, 2021; SMITA, 2022). A exposição excessiva ao Cr ocasiona hipoglicemia, desconforto gástrico, taquicardia, alterações hepáticas e renais (SONONE, 2020).

#### 5.2.9 Cobre (Cu)

O teor de Cu no BS foi de  $0,04 \pm 0,003$  mg/80g;  $0,08 \pm 0,03$  mg/80g;  $0,07 \pm 0,003$  mg/80g;  $0,02 \pm 0,002$  mg/80g e  $0,02 \pm 0,01$  mg/80g nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, respectivamente. Nos DS das regiões Sudeste, Norte e Nordeste, o teor de Cu variou de  $0,01 \pm 0,004$  a  $0,01 \pm 0,002$  mg/80g. Os demais tipos de açúcares apresentaram concentrações < LOD.

Em amostras de rapadura a concentração de Cu variou de 3,5 a 7,2 mg/kg, sendo maiores que os nossos resultados (GUERRA, MUJICA, 2010). Teores maiores também foram identificados no Sudeste Asiático, onde amostras de açúcar não refinado apresentaram níveis de Cu que variaram de 2,9 a 30,3 mg/kg (AYUSTANINGWARNO et al., 2023). Lee et al. (2018) não encontraram níveis detectáveis de Cu em diferentes tipos de açúcares. No açúcar branco não foram detectados níveis de Cu (OKOMA et al., 2020). O limite tolerável de Cu recomendado pela DRI para homens e mulheres adultos é de até 10 mg/dia (PADOVANI et al., 2006).

O Cu é essencial no metabolismo de carboidratos, lipídios, proteínas, enzimas e no transporte de ferro. Este mineral está presente na água e em solos agrícolas contaminados. A toxicidade de Cu pode levar a disfunções hepáticas, renais, cardíacas e neurológicas (Wang et al., 2024). A deficiência de Cu no corpo humano resulta em anemia, osteoporose, palidez, doença de Alzheimer e problemas cardíacos (Klevay, 2011).

### 5.2.10 Ferro (Fe)

As variações na concentração de Fe variaram de  $0,01 \pm 0,001$  -  $6,09 \pm 0,41$  mg/80g;  $0,09 \pm 0,01$  -  $3,39 \pm 0,97$  mg/80g;  $0,03 \pm 0,01$  -  $8,43 \pm 0,07$  mg/80g;  $0,03 \pm 0,03$  -  $10,2 \pm 2,02$  mg/80g e  $0,07 \pm 0,07$  -  $2,23 \pm 0,03$  mg/80g nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste.

Lee et al. (2018) encontraram níveis de Fe variando de 22,2 a 29,3 mg/kg em diferentes tipos de açúcares, o que difere dos nossos achados, onde foram encontradas maiores variações (0,06 a 127 mg/kg). Em amostras de açúcar mascavo de diferentes estados do Brasil e Portugal, as concentrações de Fe variaram de 1,68 a 28,4 mg/kg (Santos et al., 2019). Açúcares não refinados do Sudeste Asiático apresentaram níveis de Fe variando de 4,6 a 66,7 mg/kg (Ayustaningwarno et al., 2023). Em amostras de açúcar branco e mascavo, nenhum nível de Fe foi detectado (OKOMA et al., 2020). Para o Fe o limite máximo de ingestão é de 45 mg/dia para adultos incluindo as gestantes (PADOVANI et al., 2006; USDA, 2021).

O Fe no organismo humano desempenha funções bioquímicas importantes e nos alimentos está presente em carnes, leguminosas, vegetais verde escuros e castanhas. Sua deficiência tem como consequência a anemia, alterações neurológicas e diminuição da capacidade física (BATHLA; ARORA, 2021). O excesso de Fe no organismo, pode ocasionar lesões pancreáticas com diabetes, cirrose hepática, osteoporose e osteoartrite pela toxicidade do ferro (SIMÃO; CANCELA, 2021).

### 5.2.11 Potássio (K)

O teor detectável de K nos diferentes tipos de açúcares analisados variou de  $2,30 \pm 0,10$  -  $91,5 \pm 5,91$  mg/80g;  $2,70 \pm 0,19$  -  $113 \pm 9,65$  mg/80g;  $1,50 \pm 0,08$  -  $127,6 \pm 5,40$  mg/80g;  $1,70 \pm 0,05$  -  $20,8 \pm 2,18$  mg/80g e  $0,34 \pm 0,06$  -  $43,8 \pm 1,28$  mg/80g nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, respectivamente.

Em estudo realizado por Lee et al. (2018), em diferentes tipos de açúcares as variações de K foram de 82 a 3.930,17mg/kg, ou seja, maiores que os nossos achados. Justifica-se o alto teor de potássio pela presença deste elemento no caldo de cana, que apresenta alta concentração de potássio. Portanto, esperava-se

que o K fosse detectado em níveis elevados principalmente no açúcar mascavo. Zhu et al. (2020) encontraram teores de K em açúcares mascavo que foram de 2,446 a 11,271 mg/kg, ou seja, menores que os nossos resultados.

Em açúcares não refinados de diferentes Regiões do Sudeste Asiático, foram identificadas concentrações de K que variaram de 118,1 a 10,5 mg/kg (AYUSTANINGWARNO, 2023). No açúcar branco não foram detectados níveis de K (OKOMA et al., 2020). Em diferentes tipos de açúcares provenientes da Malásia o teores de K variaram de 16,15 a 327,11 mg/kg (AZLAN, 2020). Não há um limite máximo de ingestão de K, no entanto, a ingestão recomendada para homens, mulheres e gestantes é de 4,7 g/dia (PADOVANI et al., 2006).

No organismo humano, o K participa de diversas ações, entre elas: equilíbrio eletrolítico, contração muscular, pressão arterial e impulsos nervosos (SHOKUNBI, 2023). Nos alimentos, está presente em frutas, vegetais, grãos integrais e castanhas (NARASAKI, 2022). Tanto a deficiência, quanto a ingestão excessiva de K causam danos à saúde, resultando em fraqueza, cansaço, câimbras musculares, arritmias e insuficiência cardíaca (WANG, 2024).

#### 5.2.12 Magnésio (Mg)

O teor de Mg nas amostras variou de  $0,48 \pm 0,01$  –  $30,9 \pm 1,24$  mg/80g;  $0,67 \pm 0,05$  –  $14,1 \pm 2,18$  mg/80g;  $0,47 \pm 0,01$  –  $58,8 \pm 2,04$  mg/80g;  $0,56 \pm 0,03$  –  $4,24 \pm 0,47$  mg/80g e  $0,03 \pm 0,02$  -  $6,7 \pm 0,10$  mg/80g nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, respectivamente.

No Brasil e em Portugal, amostras de AM apresentaram teores de Mg de 10,3 a 148,1 mg/kg (SANTOS, 2019). Em amostras de diferentes açúcares não refinados, foram identificadas concentrações de Mg que variaram de 17,54 a 815,20 mg/kg (LEE et al., 2018). No Sudeste Asiático, açúcares não refinados apresentaram teores de Mg na faixa de 47,1 a 1402 mg/kg (AYUSTANINGWARNO, 2023). Na Costa do Marfim, uma concentração de 10,3 mg/kg foi identificada em amostras de AM e em açúcares de coco os teores variaram de 79,6 a 162 mg/kg (OKOMA et al., 2020). Em diferentes tipos de açúcares, foram obtidas concentrações de Mg que variaram de 2,07 a 55,7 mg/kg (AZLAN, 2020). A Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar

estabelece um valor de referência nutricional de 300 mg para mulheres e 350 mg para homens (EFSA, 2015).

O Mg participa da ativação de enzimas que estão envolvidas no metabolismo de carboidratos, ácidos nucleicos e proteínas. Além disso, o Mg é responsável pela contração muscular, excitação de neurônios e liberação de hormônios. As principais fontes alimentares de Mg são os grãos cereais. Embora a deficiência não seja comum, causa câimbras, ansiedade, depressão, tremores, taquicardia (PARDO, 2021). A toxicidade por Mg é rara e está associada com doenças renais ou pela ingestão de altas doses, pode acarretar em paralisia muscular, arritmias e alterações respiratórias (WILLIAM, 2018).

#### 5.2.13 Manganês (Mn)

A concentração de Mn na Região Sul foi de  $0,92 \pm 0,06$  mg/80g para AM e  $0,01 \pm 0,001$  mg/80g para AD. Na Região Sudeste, as variações no teor de Mn variaram de  $0,01 \pm 0,001$  a  $0,30 \pm 0,07$  mg/80g. Na Região Centro-Oeste, o teor de Mn variou de  $0,01 \pm 0,001$  a  $1,15 \pm 0,01$  mg/80g. Na Região Norte, a concentração de Mn foi de  $0,14 \pm 0,004$  mg/80g em BS e  $0,06 \pm 0,02$  mg/80g em AD. Na Região Nordeste, os teores de Mn variaram de  $0,001 \pm 0,01$  a  $0,14 \pm 0,002$  mg/80 g. Os demais açúcares apresentaram concentrações < LOD.

Lee et al. (2018), não encontraram níveis detectáveis de Mn em diferentes tipos de açúcares. No entanto, em amostras de açúcar mascavo de diferentes estados do Brasil e de Portugal, as concentrações de Mn variaram de 3,3 a 41,7 mg/kg (SANTOS, 2019). Em amostras de açúcares não refinados, os teores Mn variaram de 0,8 a 58,9 mg/kg (AYUSTANINGWARNO, 2023). De acordo com a DRI, a ingestão de Mn não deve ultrapassar 11 mg/dia para adultos (DRI, 2001).

Nos alimentos, o Mn está presente em grãos, feijões, nozes, sementes, frutas e vegetais. É essencial nas funções nervosas, imunológicas e sanguíneas, e sua deficiência causa alterações nesses sistemas. O excesso de Mn acumula-se no fígado e no sistema nervoso central ocasionando sintomas que remetem ao Mal de Parkinson (SOH, 2024).

#### 5.2.14 Fósforo (P)

Os teores de P encontrados nos açúcares analisados variaram de  $0,88 \pm 0,03$  a  $7,90 \pm 0,56$  mg/80g;  $0,69 \pm 0,01$  –  $7,71 \pm 1,48$  mg/80g;  $0,98 \pm 0,02$  –  $11,2 \pm 0,12$  mg/80g;  $0,88 \pm 0,03$  –  $3,16 \pm 0,82$  mg/80g; e  $1,18 \pm 0,29$  –  $9,62 \pm 0,22$  mg/80g nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, respectivamente.

Na China, a concentração de P em diferentes amostras de AM variou de 39 a 458 mg/kg (ZHU, 2020). Em Regiões do Sudeste Asiático, açúcares não refinados apresentaram concentrações de P que variaram de 5,1 a 1101 mg/kg (AYUSTANINGWARNO, 2023). No açúcar branco não foram detectados níveis de P (OKOMA et al., 2020). Em amostras de AM (23,8 mg/kg) e açúcares de coco (83,3 a 145,7 mg/kg) da Costa do Marfim, as concentrações de P foram semelhantes aos nossos resultados (OKOMA et al., 2020). Na Malásia, diferentes tipos de açúcares apresentaram níveis não detectáveis de P (AZLAN, 2020). Limita-se a 4 mg/dia a ingestão de P para homens e mulheres adultos segundo o disposto pela DRI (DRI, 2001).

No organismo humano, o P é importante para a saúde óssea. Carnes, grãos e laticínios são as principais fontes de P. O excesso de P pode ocasionar fraqueza óssea; calcificação dos tecidos; inapetência e alterações renais (TAKEDA, 2014). A deficiência de P está associada a dores nos ossos e articulações; fadiga; perda de peso, fraqueza muscular e está associada à deficiência de K (BLASER, 2021).

#### 5.2.15 Chumbo (Pb)

Os resultados para o teor de Pb nas amostras apresentaram variações nas regiões Sul ( $0,01 \pm 0,006$  –  $0,04 \pm 0,002$  mg/80g), Sudeste ( $0,03 \pm 0,003$  –  $0,18 \pm 0,15$  mg/80g), Centro-Oeste ( $0,01 \pm 0,007$  –  $0,05 \pm 0,002$  mg/80g), Norte ( $0,02 \pm 0,007$  –  $0,05 \pm 0,02$  mg/80g) e Nordeste ( $0,03 \pm 0,002$  –  $0,04 \pm 0,01$  mg/80g).

Em amostras brasileiras de AM, Santos et al. (2018) encontraram concentrações de Pb que variaram de 0,049 a 0,21 mg/kg. No Brasil, o limite máximo tolerável de chumbo em açúcares é 0,10mg/Kg (BRASIL, 2021). Enquanto a FAO/OMS (2011) aponta que o limite de ingestão semanal de Pb é de 0,05 mg/Kg.

Conforme os limites estabelecidos pela FAO, as concentrações de Pb detectadas no presente estudo estão acima do recomendado.

Devido ao Pb não ser um elemento essencial para os seres humanos e a ingestão de altas concentrações pode contribuir para desenvolvimento de câncer, prejudicar os sistemas cardiovascular, nervoso, esquelético, imunológico, renal e na fertilidade (YAN, 2024). Durante a gravidez, o Pb pode prejudicar o crescimento fetal na fase inicial (KUMAR, 2020).

#### 5.2.16 Enxofre (S)

As concentrações de S nos diferentes tipos de açúcares variaram nas regiões Sul ( $0,70 \pm 0,02 - 13,3 \pm 1,19$  mg/80g); Sudeste ( $1,70 \pm 0,08 - 18,9 \pm 5,73$  mg/80g); Centro-Oeste ( $1,24 \pm 0,02 - 28,9 \pm 0,33$  mg/80g); Norte ( $1,69 \pm 0,08 - 10,5 \pm 4,08$  mg/80g) e Nordeste ( $0,98 \pm 0,22 - 10,6 \pm 0,27$  mg/80g).

Em amostras de açúcares mascavo, as concentrações de S variaram de 665 a 1869 mg/kg e portanto, maiores que nossos achados (ZHU, 2020). Teores maiores também foram identificados em diferentes categorias de alimentos, incluindo o açúcar, onde a concentração de S teve média de 525 mg/kg (PASSAFIUME, 2023). A DRI e a USDA não determinam o limite de ingestão tolerável de S (DRI, 2005; USDA, 2021).

Em alimentos, a presença de S se dá pelo consumo de carnes, peixes, sementes, grãos e laticínios. A deficiência de S pode ter como consequências, dores articulares, vulnerabilidade a doenças virais e alterações na pele, unhas e cabelos. O excesso de S ocasiona desconfortos gastrointestinais, diarreia e alterações na função imunológica (PASSAFIUME, 2023; DORDEVIC, 2023).

#### 5.2.17 Selênio (Se)

O teor de Se nas amostras dos diferentes tipos de açúcares apresentou variações nas regiões Sul ( $0,05 \pm 0,01 - 0,08 \pm 0,01$  mg/80g); Sudeste ( $0,07 \pm 0,007 - 0,10 \pm 0,03$  mg/80g); Centro-Oeste ( $0,05 \pm 0,01 - 0,09 \pm 0,002$  mg/80g); Norte ( $0,05 \pm 0,005 - 0,09 \pm 0,02$  mg/80g) e Nordeste ( $0,06 \pm 0,01 - 0,09 \pm 0,01$  mg/80g).

Identificou-se uma concentração de 0,02 mg/kg de Se em amostras de AM (AZLAN, 2020). O limite de ingestão de Se para homens e mulheres adultos incluindo

as gestantes não deve ultrapassar 0,4 mg/dia, conforme determinado pela DRI (PADOVANI et al., 2006).

O Se é essencial para o organismo humano, pois tem papel antioxidante, fortalecendo o sistema imunológico, reprodutivo e reduzindo os riscos do desenvolvimento de câncer de mama, próstata e pulmão (TIAN, 2020; KIELISZEK, 2022). Como fontes alimentares de Se destaca-se as castanhas, cereais, carnes, peixes, frutas e vegetais (KIELISZEK, 2019). A deficiência de Se pode estar associada com a osteoporose, alterações cognitivas e cardiológicas (WANG, 2020). Reações adversas pelo excesso de Se podem acarretar em diarreia, vômitos e queda de cabelo (CHEN, 2021).

#### 5.2.18 Silício (Si)

O teor detectável de Si nos diferentes tipos de açúcares analisados variou de  $0,16 \pm 0,06$  –  $9,19 \pm 0,40$  mg/80g na Região Sul, com AC desta região sendo < LOD. Na Região Sudeste, o teor variou de  $0,10 \pm 0,02$  –  $5,30 \pm 2,57$  mg/80g. Na Região Centro-Oeste, as concentrações detectadas foram de  $0,005 \pm 0,006$  –  $0,69 \pm 7,78 \pm 0,06$  mg/80g, com GS tendo concentração < LOD. Concentrações de  $0,13 \pm 0,132$  –  $3,06 \pm 0,16$  mg/80g foram encontradas em amostras da Região Norte. Na Região Nordeste, a variação foi de  $0,70 \pm 0,58$  –  $3,20 \pm 0,07$  mg/80g, com o açúcar refinado apresentando concentração < LOD.

Foi identificado concentrações de Si que variaram de 19 a 155 mg/kg, que estiveram dentro da faixa de concentração encontrado no presente estudo (ZHU, 2020). Em amostras de AM e açúcar de coco, as concentrações foram de 14,9 mg e 126,8 a 158,7mg/kg, respectivamente e no açúcar branco não foram detectados níveis de Si (OKOMA et al., 2020). No entanto, sugere-se uma ingestão de 10 a 25 mg de Si é de (DRI, 2001; PRUKSA, 2014; MEDEIROS, 2020).

O Si está presente no organismo humano nas unhas, cabelos e um componente importante na produção de colágeno e tecido conjuntivo. As plantas são as principais fontes de Si. A deficiência de Si impede o crescimento e desenvolvimento de tecidos, incluindo a perda da elasticidade da parede dos vasos sanguíneos. São limitados os estudos que demonstram efeitos adversos acerca do excesso de Si. (MEDEIROS, 2020).

### 5.2.19 Estrôncio (Sr)

As concentrações de Sr na Região Sul foram de  $0,06 \pm 0,01$  mg/80g para AM e  $0,003 \pm 0,001$  mg/80g para AD; os demais tipos apresentaram concentrações <LOD. No Sudeste, as variações de concentração foram de  $0,01 \pm 0,001$  a  $0,36 \pm 0,13$  mg/80g e < LOD para AC. No Centro-Oeste, a concentração de Sr foi de  $0,11 \pm 0,001$  mg/kg para AM, os demais tipos apresentaram concentrações < LOD. Na Região Norte, o AM apresentou concentração de  $0,05 \pm 0,01$  mg/80g e o AD  $0,03 \pm 0,003$  mg/80g, os demais tipos foram < LOD, e na Região Nordeste a variação ocorreu de  $0,02 \pm 0,002$  a  $0,35 \pm 0,02$  mg/80g e < LOD para o AR.

A presença de Sr nos alimentos é devido a contaminação da água que é transferida aos alimentos durante a preparação. Além disso, o Sr pode ser encontrado em solos e no ar. Sendo um elemento tóxico, o Sr atua principalmente no sistema ósseo, pois tem a capacidade de substituir o cálcio nos ossos reduzindo sua densidade, o risco torna-se aumentado quando o consumo e a absorção de Ca na dieta estão diminuídos (MELNYK, 2019).

### 5.2.20 Vanádio (V)

O teor de V foi de  $0,07 \pm 0,01$  mg/80g em AM e  $0,01 \pm 0,003$  mg/80g em AD na Região Sul; os demais tipos nessa Região foram < LOD. Na Região Sudeste, as concentrações de V em AM e AD foram de  $0,04 \pm 0,004$  e  $0,003 \pm 0,002$  mg/80g, respectivamente, e < LOD nos demais tipos. O Centro-Oeste demonstrou variações de  $0,002 \pm 0,001$  a  $0,13 \pm 0,001$  mg/80g e < LOD para AC. O Norte obteve teor de V de  $0,02 \pm 0,002$  mg/80g para BS e  $0,01 \pm 0,004$  mg/80g para AD; AC e AR apresentaram teores < LOD. Na Região Nordeste, houve concentração de  $0,01 \pm 0,002$  e  $0,01 \pm 0,003$  mg/80g para os açúcares AM e AD, respectivamente; os demais tipos apresentaram concentrações < LOD.

Na literatura, não constam estudos que abordem a concentração de V em diferentes tipos de açúcares. O limite tolerável para a ingestão de V segundo a DRI é de 1,8 mg/dia para homens e mulheres adultos (DRI, 2001). Comparando esta recomendação com os nossos resultados, observa-se que as concentrações de V estão dentro do limite tolerável.

O V no organismo humano tem a capacidade de regular a glicemia em pacientes diabéticos (JAKUSCH, 2017), além de ter ação contra a osteoporose (FENG, 2023) e câncer (KIOSEOGLOU, 2015). Nos alimentos o V está presente em frutos do mar e vegetais devido a contaminação da água e solo (YU, 2019). A suplementação pode ser utilizada em benefício à saúde (HASHMI, 2023). A deficiência nutricional é rara. Em excesso pode causar danos neurológicos, renais, ósseos, hepáticos (YU, 2019).

#### 5.2.21 Zinco (Zn)

A detecção de Zn apresentou variações de  $0,01 \pm 0,01 - 0,23 \pm 0,01$  mg/80g;  $0,01 \pm 0,01 - 0,20 \pm 0,04$  mg/80g;  $0,05 \pm 0,02 - 0,37 \pm 0,01$  mg/80g e  $< \text{LOD}$  para AC;  $0,008 \pm 0,007 - 0,23 \pm 0,01$  mg/80g e  $0,005 \pm 0,001 - 0,22 \pm 0,01$  mg/80g nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, respectivamente.

Amostras de rapadura apresentaram concentrações de Zn que variaram de 3,7 a 5,4 mg/kg (GUERRA, MUJICA, 2010). Em diferentes amostras de açúcares mascavo e branco não foram detectados níveis de Zn (LEE, 2018; OKOMA, 2020). Em contrapartida, Santos et al. (2019) encontraram níveis de Zn que variaram de 4,4 a 18,3 mg/kg em amostras de AM. Açúcares não refinados provenientes de Regiões do Sudeste Asiático apresentaram níveis de Zn que variaram de 3,4 a 65,3 mg/kg (AYUSTANINGWARNO, 2023). É de 40 mg/dia a ingestão máxima indicada pela DRI para homens e mulheres adultos (DRI, 2001).

Na saúde humana, o Zn é essencial nas funções fisiológicas. Nos alimentos, o Zn está presente principalmente nas carnes, peixes, grãos integrais e sementes. A deficiência de Zn afeta o sistema imunológico, compromete o crescimento e desenvolvimentos de crianças e altera o equilíbrio da insulina e das respostas inflamatória do diabetes tipo 2 e doenças cardiovasculares. A toxicidade por Zn pode causar náuseas, vômitos, diarreia, tontura, anemia, desconforto gástrico, febre e alterações no sistema nervoso central. Além disso, o excesso de Zn pode interferir na absorção de Fe e Cu (SHOKUNBI, 2019; POMPARNO, 2021).

O conteúdo elementar e as características físico-químicas, poderá depender de cada processo que envolve a cadeia produtiva do açúcar, desde a colheita da matéria-prima, variedade de cana-de-açúcar, o tipo de tecnologia empregada no processo de

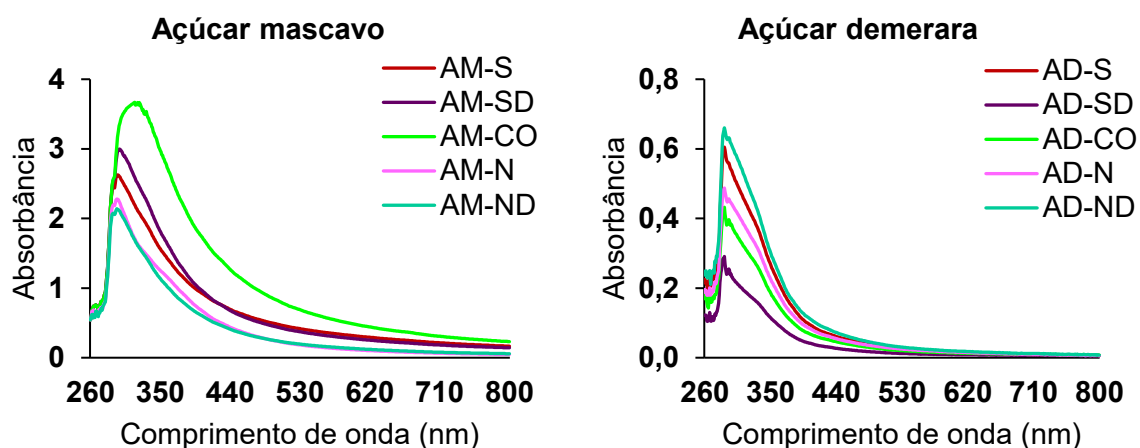
produção até o momento da comercialização do produto final (RODRIGUÉZ, 2018; VELÁSQUES, 2019). Por esta razão, torna-se necessária uma maior preocupação com as condições de produção, para que se possa oferecer um produto com qualidade e segurança alimentar. Além disso, a variação nas concentrações entre os minerais é provavelmente resultado da variação de seus teores no caldo de cana, que é afetado por diferentes fatores agroecológicos e técnicas de processamento (EGGLESTON, 2021).

### 5.3 Técnicas espectroscópicas

#### 5.3.1 Dados da análise de espectroscopia por UV-VIS

Os resultados da análise de espectroscopia UV-VIS dos diferentes tipos de açúcares demonstrados por Regiões Brasileiras estão representados pelo Gráfico 5.

O Gráfico 5 mostra os resultados da análise de espectroscopia UV-VIS dos diferentes tipos de açúcares comparados entre si.



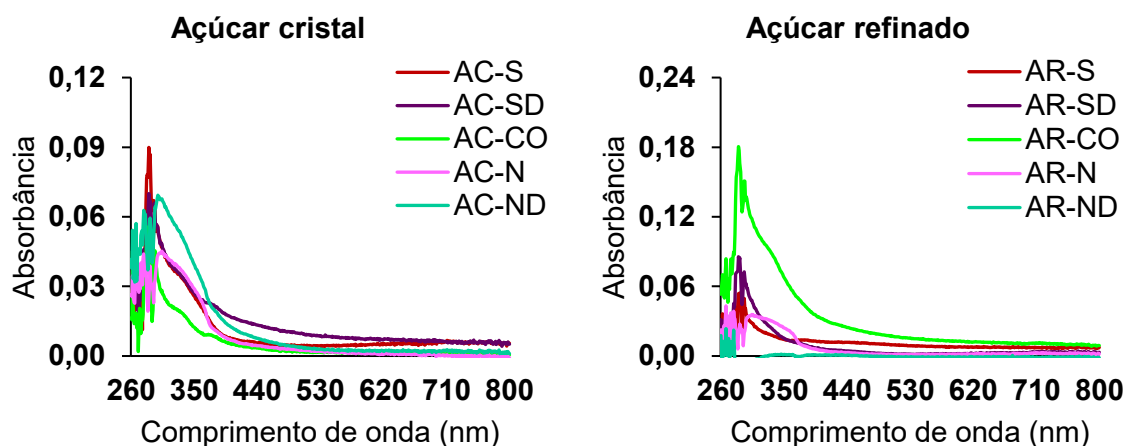


Gráfico 5. Análise por espectroscopia ultravioleta-visível dos diferentes tipos de açúcares comparados entre si.

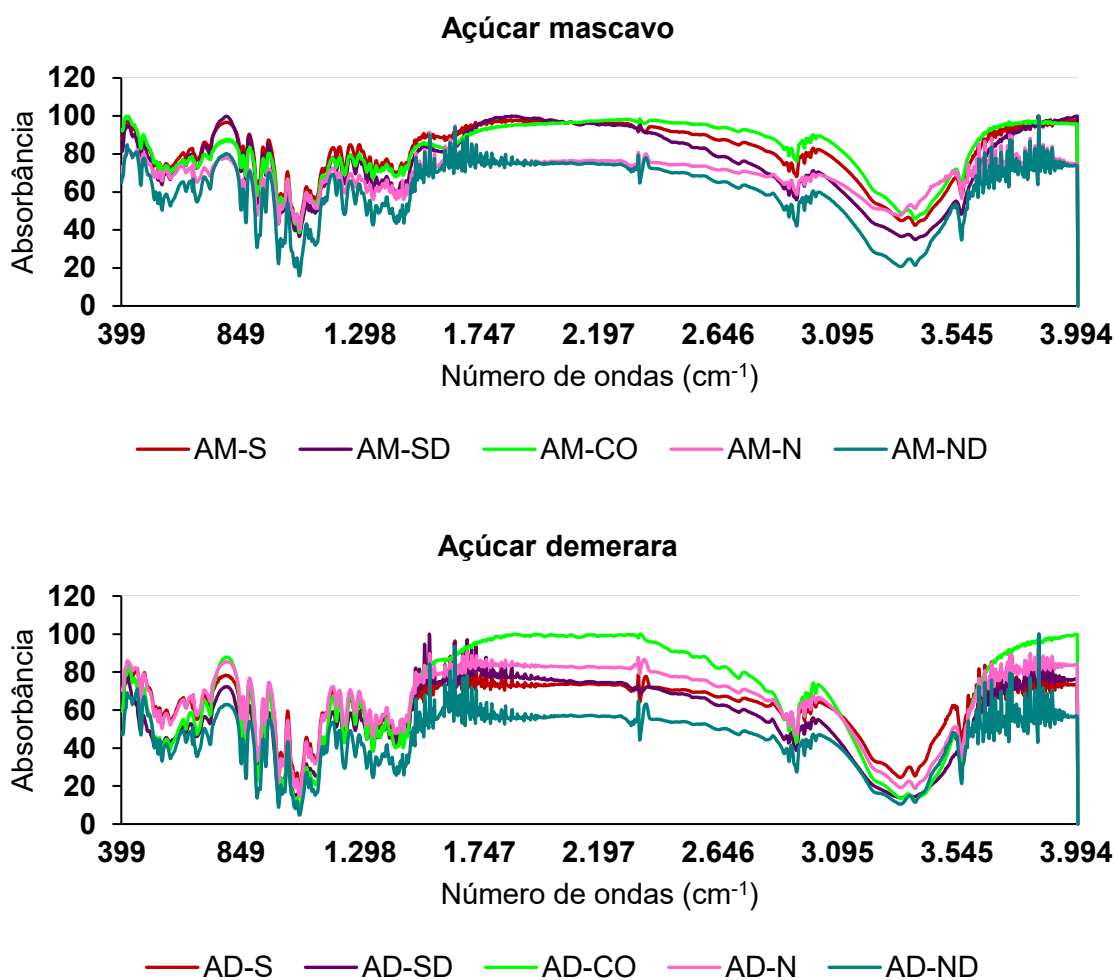
Os perfis espectrais UV-VIS identificados nos diferentes tipos de açúcares permitiram detectar comprimentos de onda que estão associados a presença de glicose, frutose e sacarose. Na faixa de comprimentos de onda de 260 a 360 pode-se observar os picos referentes a composição dos açúcares. Comprimentos semelhantes foram encontrados no estudo de Kaijanen et al. (2015) em que o UV-VIS foi utilizado para interpretar os perfis de carboidratos. Assim, os autores identificaram que o espectro UV da glicose confirma que a absorbância está próxima do máximo em 270 nm, a sacarose apresenta absorbância ligeiramente maior em comparação à glicose corroborando com nossos achados. Ainda, de acordo com a literatura, a absorbância ideal de detecção da glicose e sacarose está de 260 a 270 nm (SARAZIN, 2012; KAIJANEN, 2015).

O AM apresentou discrepâncias maiores no espectros em relação aos demais tipos de açúcares, isso pode ser justificado devido a presença de compostos bioativos presentes no AM. Em amostras de méis de diferentes Regiões, os espectros de 260 a 360 foram associados à presença de compostos fenólicos e flavonoides (NUNES et al., 2022). As diferenças entre os espectros identificados e os encontrados na literatura podem ocorrer devido as condições de laboratório ou do modo como o método foi realizado (KAIJANEN, 2015). Outros autores, observaram que o sinal de detecção de glicose muda conforme a banda composta passa pela janela de detecção. Além disso, a mudança no tamanho do pico entre repetições provavelmente indica a alteração da glicose pela reação fotoquímica e a presença de oxigênio ou CO<sub>2</sub> também podem afetar o tamanho do pico (SARAZIN, 2012; OLIVER, 2013).

Nossos resultados permitem explicar que os diferentes tipos de açúcares analisados apresentaram-se com perfis característicos conforme cada tipo. Isso mostra, que as semelhanças na composição química dos açúcares analisados neste estudo não estão associados à possíveis adulterações, o que fortalece o intuito de que este estudo seja utilizado como base na identificação da autenticidade dos açúcares de maneira rápida e acessível.

### 5.2.2 Análise de espectroscopia por infravermelho

Os resultados da análise de espectroscopia por infravermelho dos diferentes tipos de açúcares conforme cada região brasileira no Gráfico 6.



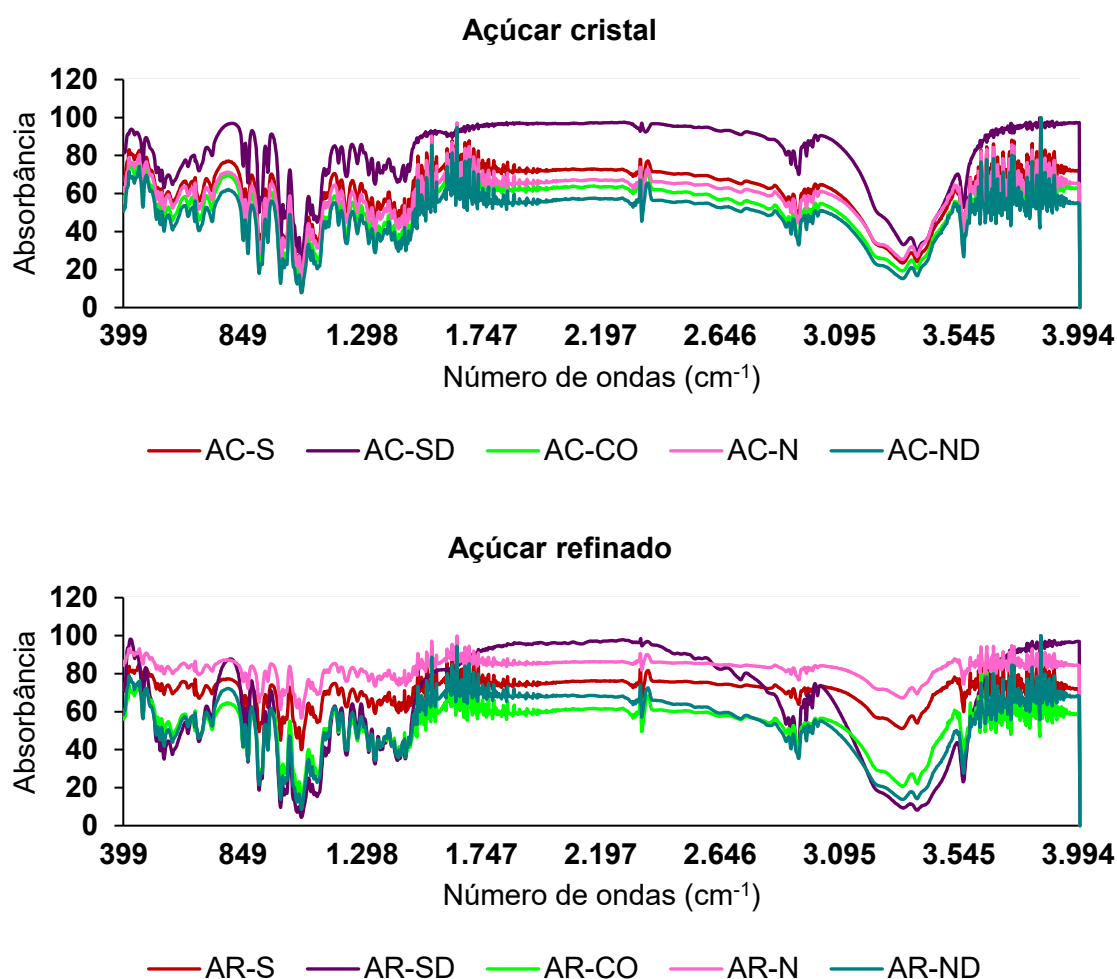


Gráfico 6. Análise por espectroscopia de infravermelho dos diferentes tipos de açúcares comparados entre si.

O método de espectrometria infravermelha com transformada de Fourier é utilizado para detecção de adulteração de alimentos, principalmente os que possuem valores de aquisição mais elevados, pois estão mais susceptíveis à adulteração para maiores lucros (WANG, 2010). Neste ponto, ressalta-se que os principais açúcares passíveis de adulterações são o açúcar mascavo (CHEN, 2021) e o açúcar de coco (ROGERS, 2021). Segundo a literatura, considera-se como um alimento autêntico, aquele que possui o rótulo com os dados corretos do produto; que o produto esteja em conformidade com as características descritas no rótulo, de modo, que ofereça qualidade e segurança alimentar tanto para os produtores, quanto aos consumidores (ESTEKI, 2017).

Neste estudo, observou-se que os resultados encontrados na literatura confirmam que os espectros identificados nos diferentes tipos de açúcares das cinco

regiões brasileiras que estão na faixa de 900 a 1500  $\text{cm}^{-1}$  estão representando, a sacarose, frutose e glicose. Nossos achados, são semelhantes ao encontrado por Wang et al. (2010) que identificaram as faixas de absorção dos espectros de sacarose que incluem 928, 1007, 1054, 1123, 1362 e 1427  $\text{cm}^{-1}$  com picos principais de 994 e 1049  $\text{cm}^{-1}$ . Além disso, o espectro em 918  $\text{cm}^{-1}$  corresponde à curvatura C–H do carboidrato (ANJOS, 2015).

Ao adulterar o leite pasteurizado com sacarose Chu et al. (2024), identificaram que a absorção de sacarose esteve na faixa de 1141 a 972  $\text{cm}^{-1}$ , corroborando também com nossos resultados. Teklemariam et al. (2024) ao adulterarem uma água de coco orgânica com diferentes tipos de açúcares e adoçantes, identificaram que os espectros de sacarose estiveram na faixa de 1140, 1055 e 998  $\text{cm}^{-1}$ . As faixas de absorção de frutose incluem 923, 978, 1067, 1250, 1346 e 1418  $\text{cm}^{-1}$ . Os principais espectros de frutose identificados na água de coco adulterada demonstrou estarem nas faixas de 964, 980, 1064, 1183  $\text{cm}^{-1}$  (TEKLEMARIAM, 2024).

Os picos de glicose incluem as faixas 902, 1.036, 1.360 e 1.431  $\text{cm}^{-1}$  com um pico principal em 1.032  $\text{cm}^{-1}$  (WANG, 2010). Na água de coco adulterada, os espectros se apresentaram na faixa de 991, 1034, 1138 e 1156  $\text{cm}^{-1}$ . Os picos em 1043  $\text{cm}^{-1}$  e 1254  $\text{cm}^{-1}$  correspondem ainda ao estiramento C–O no grupo C–OH, bem como ao estiramento C–C na estrutura do carboidrato (ANJOS, 2015). No presente estudo, o comportamento dos espectros nessas faixas se repete ao longo de todas as regiões brasileiras.

Além disso, os espectros nos picos que estão na faixa de 3.000 a 3.500  $\text{cm}^{-1}$  podem ser devido a presença de água, conforme demonstrado nos espectros do mel, que na faixa de 3284  $\text{cm}^{-1}$  apresentou uma banda de água (ANJOS, 2015). Verificou-se ainda que quando compara-se os mesmos tipos de açúcar das diferentes regiões, temos espectros de absorbância idênticos, corroborando a identidade de cada produto.

Sendo assim, ambas as comparações, permitem que o presente estudo seja utilizado como modelo padrão para que estudos futuros possam identificar possíveis adulterações e alterações na composição dos açúcares. Da mesma forma que Li et al. (2021) utilizaram Ultra performance liquid chromatography-quadrupole time-of-flight Mass Spectrometry (UPLC-QToF-MS), com o intuito de desenvolver um método que auxilie no rastreamento geográfico e na autenticidade do açúcar refinado

proveniente da cana-de-açúcar e da beterraba, nossos achados poderão ser a base de um banco de dados das características de identidade dos diferentes tipos de açúcares para a comparação com futuros estudos.

## 6. CONCLUSÃO

Os percentuais de umidade, cinzas e carboidratos redutores variaram entre as amostras analisadas e não apresentaram padronização entre as regiões brasileiras. Além disso, os carboidratos não redutores não atenderam aos critérios de qualidade padrão em diversas amostras e regiões. Considerando a ingestão típica de açúcar, é improvável que um ser humano adulto sofra toxicidade ou intoxicação pelo teor de metais nesses produtos. Em relação aos parâmetros espectrométricos de UV-VIS e FTIR, foram observadas similaridades entre os tipos de açúcar e as regiões, confirmando sua composição química.

Diferentes tipos de açúcares exigem padrões físico-químicos estabelecidos para melhor caracterizar o produto, garantindo os parâmetros desejados de autenticidade, qualidade físico-química e nutricional. No entanto, a legislação brasileira não estabelece um padrão para açúcares redutores em açúcares sólidos, e essa falta de regulamentação pode impactar a qualidade dos açúcares vendidos no Brasil. O teor de carboidratos não redutores atingiu o percentual mínimo estabelecido. Em contraste, as metas percentuais para essas substâncias não foram atendidas para BS nas regiões S, SE e CO, para AD nas regiões SE e CO, para AC nas regiões S, SE e CO, e para AR nas regiões S, SE e CO. Este fato contribui para a comercialização de açúcares não padronizados e torna a regulamentação e o controle do açúcar essenciais para garantir a qualidade e a autenticidade do produto.

As similaridades na composição química dos açúcares analisados não estão associadas à adulteração e reforçam que este estudo serve como base para identificar a autenticidade dos açúcares. Portanto, este estudo preenche uma lacuna no conhecimento sobre a caracterização e composição elementar dos açúcares mais consumidos no mundo e pode também beneficiar produtores, pesquisadores e consumidores no que se refere à segurança alimentar, controle de qualidade, padronização, autenticidade, e prevenção de fraudes no açúcar. Pesquisas adicionais são necessárias para ampliar a caracterização e identidade dos açúcares, verificar adulterações e relacionar seu consumo com produtos ultraprocessados ricos em

açúcar adicionado, avaliando os riscos à saúde devido ao consumo concomitante desses produtos pela população. Portanto, sugerimos que os dados aqui apresentados sirvam de base para um modelo padrão para estudos futuros que visem identificar possíveis adulterações e alterações na composição do açúcar. Nossos achados podem formar a base de um banco de dados das características de identidade de diferentes tipos de açúcares para comparação com outros estudos.

## REFERÊNCIAS

- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for aluminum**. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Atlanta, GA, 2008. <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp22.pdf>.
- AGRAWAL, D.; KUMAR, V. Recent progress on sugarcane-bagasse based lactic acid production: Technical advancements, potential and limitations. **Industrial Crops and Products**, v. 193, 116132, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116132>.
- ALHABDAN, Y. A.; ALBESHR, A. G.; YENUGADHATI, N.; JRADI, H. Prevalence of dental caries and associated factors among primary school children: a population-based cross-sectional study in Riyadh, Saudi Arabia. **Environmental Health and Preventive Medicine**, v. 23, n. 1, p. 60, 2018. <https://doi.org/10.1186/s12199-018-0750-z>.
- ALI, T. E. M.; BADRAN, K. S. A.; BARAKA, M. A.; ALTHAGAFY, H. S.; HASSANEIN, E. H. M. Mechanism and impact of heavy metal-aluminum (Al) toxicity on male reproduction: Therapeutic approaches with some phytochemicals. **Life Sciences**, v. 340, 122461, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2024.122461>.
- ALVES, V.; SANTOS, J. M.; PINTO, E.; FERREIRA, I. M. P. L. V. O.; LIMA, V. A.; FELSNER, M. L. Digital image processing combined with machine learning: A new strategy for brown sugar classification. **Microchemical Journal**, v. 196, 109604, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2023.109604>.
- ANDRADE, L. A.; MEDEIROS, S. D. S.; BORGES, M. T. M. R. Evaluation of the physicochemical characteristics of brown sugar with added very high polarization raw sugar. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 21, e2017199, 2018. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.19917>.
- ANJOS, O.; CAMPOS, M. G.; RUIZ, P. C.; ANTUNES, P. Application of FTIR-ATR spectroscopy to the quantification of sugar in honey. **Food Chemistry**, v. 169, 218-223, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.138>.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**: Method 958.06. 14<sup>th</sup> Edition, Arlington, Virgínia. AOAC, , chapter 39, p. 21, 1995.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist**: Method 982.14. 19<sup>th</sup> Edition, Washington, DC. AOAC, 2012.
- ARAÚJO, E. R.; BORGES, M. T. M. R.; CECCATO-ANTONINI, S. R. VERRUMA-BERNARDI, M. R. Qualidade de açúcares mascavo produzidos em um assentamento da reforma agrária. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 22, n. 4, p. 617-621, out./dez. 2011. <https://www.researchgate.net/publication/277796579>.

ASBAGHI, O.; NAEINI, F.; ASHTARY-LARKY, D.; KAVIANI, M.; KELISHADI, M. R.; ESLAMPOUR, E.; MORADI, S.; MIRZADEH, E.; CLARK, C. C. T.; NAEINI, A. A. Effects of chromium supplementation on blood pressure, body mass index, liver function enzymes and malondialdehyde in patients with type 2 diabetes: A systematic review and dose-response meta-analysis of randomized controlled trials.

**Complementary Therapies in Medicine**, v. 60, 102755, 2021.

<https://doi.org/10.1016/j.ctim.2021.102755>.

ASIKIN, Y.; HIROSE, N.; TAMAKI, H.; ITO, S.; OKU, H.; WADA, K. Effects of different drying-solidification processes on physical properties, volatile fraction, and antioxidant activity of noncentrifugal cane brown sugar. **LWT - Food Science and Technology**, v. 66, p. 340-347, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.039>.

AYUSTANINGWARNO, F.; ASIKIN, Y.; AMANO, R.; VU, N. T.; HAJAR-AZHARI, S.; ANJANI, G.; TAKARA, K.; WADA, K. Composition of minerals and volatile organic components of non-centrifugal cane sugars from Japan and ASEAN countries. **Foods**, v. 12, n. 7, 1406, 2023. <https://doi.org/10.3390/foods12071406>.

AZLAN, A.; KHOO, H. E.; SAJAK, A. A. B.; KADIR, N. A. A. A.; YUSOF, B. N. M.; MAHMOOD, Z.; SULTANA, S. Antioxidant activity, nutritional and physicochemical characteristics, and toxicity of minimally refined brown sugar and other sugars. **Food Science and Nutrition**, v. 8, n. 9, p. 5048–5062, 2020. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1803>.

BABU, K. S. D.; JANAKIRAMAN, V.; PALANISWAMY, H.; KASIRAJAN, L.; GOMATHI, R.; RAMKUMAR, T. R. A short review on sugarcane: its domestication, molecular manipulations and future perspectives. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 69, n. 8, p. 2623-2643, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10722-022-01430-6>.

BACHMANN, R.; HORNS, A. L.; PAASCH, N.; SCHRIECK, R.; WEIDNER, M.; FRANSSON, I.; SCHROR, J. Minor metabolites as chemical marker for the differentiation of cane, beet and coconut blossom sugar. From profiling towards identification of adulterations. **Food Control**, v. 135, 108832, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108832>.

BETTANI, S. R.; LAGO, C. E.; FARIA, D. A. M.; BORGES, M. T. M. R.; VERRUMA-BERNARDI, M. R. Avaliação físico-química e sensorial de açúcares orgânicos e convencionais. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.16, n.2, p.155-162, 2014. <https://doi.org/10.15871/15178595/rbpa.v16n2p155-162>.

BLASER, A. R.; GUNST, J.; ICHAI, C.; CASAER, M. P.; BENSTOEM, C.; BESCH, G.; DAUGER, S.; FRUHWALD, S. M.; HIESMAYR, M.; JOANNES-BOYAU, O.; MALBRAIN, M. L. N. G.; PEREZ, M. H.; SCHALLER, S. J.; MAN, A.; STARKOPF, J.; TAMME, K.; WERNERMAN, J.; BERGER, M. M. Hypophosphatemia in critically ill adults and children – A systematic review. **Clinical Nutrition**, v. 40, n. 4, p. 1744-1754, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.09.045>.

BOWMAN, S. A. Added sugars: Definition and estimation in the USDA Food Patterns Equivalents Databases. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 64, p. 64-67, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.07.013>.

BOWMAN, S. A.; CLEMENS, J. C.; FRIDAY, J. E.; MOSHFEGH, A. J. Food Patterns Equivalent Intakes from Food: Mean Amounts Consumed per Individual, What We Eat In America, NHANES 2017-2018, Tables 1-4. Worldwide Web Site: **Food Surveys Research Group**, 2020. <https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=379583>.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (1985). **Portaria nº 6, de 25 de Julho de 1985**. Normas Higiénico-Sanitárias e Tecnológicas para Mel, Cera de Abelhas e Derivados. Diário Oficial da União. <https://www.cidasc.sc.gov.br/inspecao/files/2012/08/portaria-6-de-1985-mel.pdf>.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Instrução Normativa nº 47, de 30 de Agosto de 2018**. Estabelece o Regulamento Técnico do Açúcar. Diário Oficial da União, seção 1, Brasília, DF, Edição 173, p. 12-15, 2018.

BRASIL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2020). **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2017-2018**. Análise do Consumo Alimentar Pessoal no Brasil. Coordenação de Trabalho e Rendimento. 120 p. <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101742>.

BRASIL, Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. **Instrução Normativa - nº 88, de 26 de Março de 2021**. Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos. <https://antigo.anvisa.gov.br>.

CASALE, M.; OLIVERI, P.; ARMANINO, C.; LANTERI, S.; FORINA, M. NIR and UV–vis spectroscopy, artificial nose and tongue: Comparison of four fingerprinting techniques for the characterisation of Italian red wines. **Analytica Chimica Acta**, v. 668, n. 2, p. 143-148, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2010.04.021>.

CHARTRAND, M. M. G.; MESTER, Z. Carbon isotope measurements of foods containing sugar: A survey. **Food Chemistry**, v. 300, 125106, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125106>.

CHE, J.; YANG, J.; ZHAO, B.; ZHANG, G.; WANG, L.; PENG, S.; SHANG, P. The effect of abnormal iron metabolism on osteoporosis. **Biological Trace Element Research**, v. 195, p. 353-365, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01867-4>.

CHEN, F.; MA, J.; AKHTAR, S.; KHAN, Z. I.; AHMAD, K.; ASHFAQ, A.; NAWAZ, H.; NADEEM, M. Assessment of chromium toxicity and potential health implications of agriculturally diversely irrigated food crops in the semi-arid regions of South Asia. **Agricultural Water Management**, v. 272, 107833, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107833>.

- CHEN, J.; CHEN, X.; LIN, Y.; YEN, G.; LI, J. Authentication of dark brown sugars from different processing using three-dimensional fluorescence spectroscopy. **LWT - Food Science and Technology**, v. 150, 111959, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111959>.
- CHEN, N.; ZHAO, C.; ZHANG, T. Selenium transformation and selenium-rich foods. **Food Bioscience**, v. 40, 100875, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100875>.
- CHOI, S.; BONG, Y.; PARK, J. H.; LEE, K. Geographical origin identification of garlic cultivated in Korea using isotopic and multi-elemental analyses. **Food Control**, v. 111, 107064, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.107064>.
- CHU, C.; WANG, H.; LUO, X.; FAN, Y.; NAN, L.; DU, C.; GAO, D.; WEN, P.; WANG, D.; YANG, Z.; YANG, G.; LIU, L.; LI, Y.; HU, B.; ZUNONGJIANG, A.; ZHANG, S. Rapid detection and quantification of melamine, urea, sucrose, water, and milk powder adulteration in pasteurized milk using Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy coupled with modern statistical machine learning algorithms. **Heliyon**, v. 10, n. 12, e32720, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32720>.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Safra Brasileira de Cana-de-açúcar**. Brasília. 2024. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>.
- DONEDA, R. R. R.; ANDRIOLLI, C. R.; LEITE, O. D.; DRUNKLER, D. A. Influence of conventional and organic farming systems on brown sugar quality. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 44, n. 2, p. 781-802, 2023. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2023v44n2p781>.
- DORDEVIC, D.; CAPIKOVA, J.; DORDEVIC, S.; TREMLOVÁ, B.; GAJDÁCS, M.; KUSHKEVYCH, I. Sulfur content in foods and beverages and its role in human and animal metabolism: A scoping review of recent studies. **Heliyon**, v. 9, n. 4, e15452, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15452>.
- DU, L. New insights into raw milk adulterated with milk powder identification: ATR-FTIR spectroscopic fingerprints combined with machine learning and feature selection approaches. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 133, 106443, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106443>.
- EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for calcium. **EFSA Journal**, v. 13, n. 5, 4101, 2015. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4101>.
- EGGLESTON, G.; AITA, G. M.; TRIPLETT, A. Circular sustainability of sugarcane: Natural, nutritious, and functional unrefined sweeteners that meet new consumer demands. **Sugar Tech**, v. 23, n. 5, p. 964-973, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12355-021-00994-4>.

ENDY, E. J.; YI, S.; STEFFEN, B. T.; SHIKANY, J. M.; JACOBS Jr, D. R.; GOINS, R. K.; STEFFEN, L.M. Added sugar intake is associated with weight gain and risk of developing obesity over 30 years: The CARDIA study. **Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases**, v. 34, n. 2, p. 466-474, 2024.  
<https://doi.org/10.1016/j.numecd.2023.10.022>.

ESTEKI, M.; FARAJMAND, B.; KOLAHDERAZI, Y.; SIMAL-GANDARA, J. Chromatographic fingerprinting with multivariate data analysis for detection and quantification of apricot kernel in almond powder. **Food Analytical Methods**, v. 10, n. 10, p. 3312-3320, 2017.  
<https://doi.org/10.1007/s12161-017-0903-5>.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS/WORLD HEALTH ORGANIZATION - FAO/OMS. **Evaluation of certain food additives and contaminants**: seventy-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Geneva, Switzerland. p. 149-162, 2011.  
<https://www.who.int/publications/i/item/9789241209601>.

FARINELLI, M. M. R.; TOMAS MELO, C. M. Avaliação da qualidade físico-química de três marcas de açúcar do tipo cristal. **Revista Inova Ciência e Tecnologia/ Innovative Science and Technology Journal**, v. 7, e0211043, 2021.  
<https://doi.org/10.46921/rict2021-1143>.

FATEMA, K.; SHOILY, S. S.; AHSAN, T.; HAIDAR, Z.; SUMIT, A. F.; SAJIB, A. A. Effects of arsenic and heavy metals on metabolic pathways in cells of human origin: Similarities and differences. **Toxicology Reports**, v. 8, p. 1109-1120, 2021.  
<https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.05.015>.

FENG, X.; ZAN, G.; WEI, Y.; GE, X.; CAI, H.; LONG, T.; XIE, L.; TONG, L.; LIU, C.; LI, L.; HUANG, L.; WANG, F.; CHEN, X.; ZHANG, H.; ZOU, Y.; ZHANG, Z.; YANG, X. Relationship of multiple metals mixture and osteoporosis in older Chinese women: An aging and longevity study. **Environmental Pollution**, v. 317, 120699, 2023.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120699>.

FU, J.; ZHANG, A.; WANG, T.; QU, G.; SHAO, J.; YUAN, B.; WANG, Y.; JIANG, G. Influence of E-waste dismantling and its regulations: temporal trend, spatial distribution of heavy metals in rice grains, and its potential health risk. **Environmental Science Technology**, v. 47, n. 13, p. 7437–7445, 2013.  
<https://doi.org/10.1021/es304903b>.

GANHOR, C.; REZK, M.; DOPPLER, C.; RUTHMEIER, T.; WECHSELBERGER, C.; MÜLLER, M.; KOTNIK, M.; PUH, S.; MESSNER, B.; BERNHARD, D. Aluminum, a colorful gamechanger: Uptake of an aluminum-containing food color in human cells and its implications for human health. **Food Chemistry**, v. 442, 138404, 2024.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138404>.

GONZÁLEZ-WELLER, D.; RUBIO, C.; GUTIÉRREZ, A. J.; GONZÁLEZ, G. L.; MESA, J. M. C.; GIRONÉS, C. R.; OJEDA, A. B.; HARDISSON, A. Dietary intake of barium, bismuth, chromium, lithium, and strontium in a Spanish population (Canary Islands, Spain). **Food and Chemical Toxicology**, v. 62, p. 856-868, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.10.026>.

GUELLIS, C.; VALÉRIO, D. C.; BESSEGATO, G. G.; BOROSKI, M.; DRAGUNSKI, J. C.; LINDINO, C. A. Non-targeted method to detect honey adulteration: Combination of electrochemical and spectrophotometric responses with principal component analysis. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 89, 103466, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103466>.

GUERRA, M. J.; MUJICA, M. V. Physical and chemical properties of granulated cane sugar “panelas”. **Food Science and Technology**, v. 30, n. 1, p. 250-257, 2010. <https://doi.org/10.1590/S010120612010005000012>.

HASHMI, K.; SATYA, GUPTA, S.; SIDDIQUE, A.; KHAN, T.; JOSHI, S. Medicinal applications of vanadium complexes with Schiff bases. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 79, 127245, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2023.127245>.

HEGAZI, N. M.; KHATTAB, A. R.; FROLOV, A.; WESSJOHANN, L. A.; FARAG, M. A. Authentication of saffron spice accessions from its common substitutes via a multiplex approach of UV/VIS fingerprints and UPLC/MS using molecular networking and chemometrics. **Food Chemistry**, v. 367, 130739, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130739>.

INAN-EROGLU, E.; AYAZ, A. Is aluminum exposure a risk factor for neurological disorders?. **Journal of Research in Medical Sciences**, v. 23, n. 51, 2018. [https://doi.org/10.4103/jrms.JRMS\\_921\\_17](https://doi.org/10.4103/jrms.JRMS_921_17).

INSTITUTE OF MEDICINE. **Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc**. Washington (DC): National Academy Press, 2001. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK222310/>.

INSTITUTE OF MEDICINE. **Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate**. Washington (DC): National Academy Press, 2005. <https://doi.org/10.17226/10925>.

IQBAL, M.; QAMAR, M. A.; BOKHARI, T. H.; ABBAS, M.; HUSSAIN, F.; MASOOD, N.; KESHAVARZI, A.; QURESHI, N.; NAZIR, A. Total phenolic, chromium contents and antioxidant activity of raw and processed sugars. **Information Processing Agriculture**, v. 4, n. 1, p. 83–89, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2016.11.002>.

INTERNATION UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY (IUPAC). Glossary of class names of polymers based on chemical structure and molecular architecture (IUPAC Recommendations 2009). **Pure and Applied Chemistry**, v. 81, n. 6, p. 1131-1186, 2009. <https://doi.org/10.1351/PAC-REC-08-01-30>.

JAFFÉ, W. R. Nutritional and functional components of non centrifugal cane sugar: A compilation of the data from the analytical literature. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 43, p. 194–202, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2015.06.007>.

JAKUSCH, T.; KISS, T. In vitro study of the antidiabetic behavior of vanadium compounds. **Coordination Chemistry Reviews**, v. 351, p. 118-126, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2017.04.007>.

JYOTHI, N. R. Heavy Metal Sources and Their Effects on Human Health. Heavy Metals - **Their Environmental Impacts and Mitigation**, 2020. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95370>.

KAIJANEN, L.; PAAKKUNAINEN, M.; PIETARINEN, S.; JERNSTRÖM, E.; REINIKAINEN, S. Ultraviolet detection of monosaccharides: Multiple wavelength strategy to evaluate results after capillary zone electrophoretic separation. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 10, n. 4, p. 2950-2961, 2015. [https://doi.org/10.1016/S1452-3981\(23\)06510-0](https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)06510-0).

KARGARGHOMSHEH, P.; TOORYAN, F.; SHARIFARAB, G.; MOAZZEN, M.; SHARIATIFAR, N.; ARABAMERI, M. Evaluation of Trace Elements in Coffee and Mixed Coffee Samples Using ICP-OES Method. **Biological Trace Element Research**, v. 202, n. 5, p. 2338-2346, 2024. <https://doi.org/10.1007/s12011-023-03795-w>.

KAUR, R.; RAWAL, R. Influence of heavy metal exposure on gut microbiota: Recent advances. **Journal of Biochemical and Molecular Toxicology**, v. 37, n. 12, e23485, 2023. <https://doi.org/10.1002/jbt.23485>.

KIELISZEK, M. Selenium–fascinating microelement, properties and sources in food. **Molecules**, v. 24, n. 7, 1298, 2019. <https://doi.org/10.3390/molecules24071298>.

KIELISZEK, M.; BANO, I. Selenium as an important factor in various disease states - A review. **EXCLI Journal Experimental and Clinical Sciences**, v. 21, p. 948-966, 2022. <https://dx.doi.org/10.17179/excli2022-5137>.

KIOSEOGLOU, E.; PETANIDIS, S.; GABRIEL, C.; SALIFOGLOU, A. The chemistry and biology of vanadium compounds in cancer therapeutics. **Coordination Chemistry Reviews**, v. 301-302, p. 87-105, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2015.03.010>.

KLEIN, G. L. Aluminum toxicity to bone: A multisystem effect?. **Osteoporosis and Sarcopenia**, v. 5, n. 1, p. 2-5, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.afos.2019.01.001>.

KLEVAY, L. M. Is the Western diet adequate in copper?. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 25, n. 4, p. 204-212, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2011.08.146>.

KRITTANAWONG, C.; QADEER, Y. K.; WANG, Z.; NADOLSKY, K.; VIRANI, S.; LAVIE, C. J. Sugar-Sweetened and Artificially Sweetened Beverages Consumption and Risk of Cardiovascular Health. **The American Journal of Medicine**, v. 136, n. 2, p. 163-171, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2022.10.003>.

KUCHARSKA-AMBROŻEJ, K.; KARPINSKA, J. The application of spectroscopic techniques in combination with chemometrics for detection adulteration of some herbs and spices. **Microchemical Journal**, v. 153, 104278, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104278>.

KUMAR, A.; KUMAR, A.; CABRAL-PINTO, M. M. S.; CHATURVEDI, A. K.; SHABNAM, A. A.; SUBRAHMANYAM, G.; MONDAL, R.; KUMAR, G. D.; MALYAN, S. K.; KUMAR, S. S.; KHAN, S. A.; YADAV, K. K. Lead toxicity: Health hazards, influence on food chain, and sustainable remediation approaches. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 7, 2179, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072179>.

KURIAKOSE, A. A.; PAUL, A. S.; NAIR, S. K. Detecting adulteration of honey with sugar syrup using EPR spectroscopy: A feasibility study. **Materials Today: Proceedings**, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.11.029>.

LEAN, M. E. J.; MORENGA, L. T. Sugar and type 2 diabetes. **British Medical Bulletin**, v. 120, n. 1, p. 43-53, 2016. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldw037>.

LEE, J. S.; RAMALINGAM, S.; JO, O. G.; KWON, Y. S.; BAHUGUNA, A.; OH, J. S.; JUN, K. O.; KIM, M. Comparative study of the physicochemical, nutritional, and antioxidant properties of some commercial refined and non-centrifugal sugars. **Food Research International**, v. 109, p. 614-625, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.047>.

LI, H.; FAGERBERG, B.; SALLSTEN, G.; BORNÉ, Y.; HEDBLAD, B.; ENGSTRÖM, G.; BARREGARD, L.; ANDERSSON, E. M. Smoking-induced risk of future cardiovascular disease is partly mediated by cadmium in tobacco: Malmö diet and cancer cohort study. **Environmental Health**, v. 18, n. 1, p. 56, 2019. <https://doi.org/10.1186/s12940-019-0495-1>.

LI, S.; YU, X.; ZHEN, Z.; HUANG, M.; LU, J.; PANG, Y.; WANG, X.; GAO, Y. Geographical origin traceability and identification of refined sugar using UPLC-QToF-MS analysis. **Food Chemistry**, v. 348, 128701, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128701>.

LO, H. W. H.; ZHANG, F.; MAHAJAN, A.; DARLINGTON, G.; DUNCAN, A. M.; HAINES, J.; BUCHHOLZ, A. C.; MA, D. W. L. Dietary intake and food sources of calcium and vitamin D in young children in the Guelph Family Health Study. **International Dairy Journal**, v. 156, 105980, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2024.105980>.

LONG, G. L.; WINEFORDNER, J. D. Limit of detection: a closer look at the IUPAC definition. **Analytical Chemistry**, v. 55, n. 7, p. 712-724, 1983. <https://doi.org/10.1021/ac00258a724>.

- MEDEIROS, T. A.; SUZUKI, V. Y.; LEITE, J. A. T. M.; FERNANDES, P. S.; SANTANA, V. C.; OLIVEIRA, C. R.; NICODEMO, D.; FERREIRA, L. M. Silicon in Food: A Review. **Advances in Nutritional Sciences**, v. 1, n. 1, p. 41-48, 2020. <https://doi.org/10.47693/ans.v1i1.7>.
- MELNYK, L. J.; DONOHUE, M. J.; PHAM, M.; DONOHUE, J. Absorption of strontium by foods prepared in drinking water. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 53, p. 22-26, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2019.01.001>.
- MTEMI, W. M.; LIU, S.; LIU, K.; WEI, L.; WANG, X.; JIANG, A.; GOODALE, E. Concentrations and biomagnification of multiple metals/metalloids are higher in rice than in sugarcane agroecosystems of southern China. **Ecological Indicators**, v. 150, 110266, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110266>.
- NARASAKI, Y.; YOU, A. S.; MALIK, S.; MOORE, L. W.; BROSS, R.; CERVANTES, M. K.; DAZA, A.; KOVESDY, C. P.; NGUYEN, D. V.; KALANTAR-ZADEH, K.; RHEE, C. M. Dietary potassium intake, kidney function, and survival in a nationally representative cohort. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 116, n. 4, p. 1123-1134, 2022. <https://doi.org/10.1093/ajcn/ngac215>.
- NUNES, A.; AZEVEDO, G. Z.; SANTOS, B. R.; BORGES, C. V.; LIMA, G. P. P.; CROCOLI, L. C.; MOURA, S.; MARASCHIN, M. Characterization of Brazilian floral honey produced in the states of Santa Catarina and São Paulo through ultraviolet–visible (UV–vis), near-infrared (NIR), and nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy. **Food Research International**, v. 162, 111913, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111913>.
- OGURA, A. P.; SILVA, A. C.; CASTRO, G. B.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; SILVA, A. L. An overview of the sugarcane expansion in the state of São Paulo (Brazil) over the last two decades and its environmental impacts. **Sustainable Production and Consumption**, v. 32, p. 66-75, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.04.010>.
- OKOMA, D. M. J.; ASSA, R. R.; KONAN, K. J. L. Mineral composition of table sugars from the sap of the inflorescences of 03 coconut (*Cocos nucifera* L.) cultivars in Ivory Coast. **Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences**, v. 11, n. 1, p. 082-090, 2020. <https://doi.org/10.24214/jcbps.A.11.1.08290>.
- OLIVER, J. D.; GABORIEAU, M.; HILDER, E. F.; CASTIGNOLLES, P. Simple and robust determination of monosaccharides in plant fibers in complex mixtures by capillary electrophoresis and high performance liquid chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 1291, p. 179-186, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2013.03.041>.
- PADOVANI, R. M.; AMAYA-FARFÁN, J.; COLUGNATI, F. A. B.; DOMENE, S. M. A. Dietary reference intakes: aplicabilidade das tabelas em estudos nutricionais. **Revista de Nutrição**, v. 19, n. 6, p. 741-760, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1415-52732006000600010>.

- PAN, L.; LU, R.; ZHU, Q.; MCGRATH, J. M.; TU, K. Measurement of moisture, soluble solids, sucrose content and mechanical properties in sugar beet using portable visible and near-infrared spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology**, v. 102, p. 42-50, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.02.005>.
- PARDO, M. R.; VILAR, E. G.; MARTÍN, I. S. M.; MARTÍN, M. A. C. Bioavailability of magnesium food supplements: A systematic review. **Nutrition**, v. 89, 111294, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2021.111294>.
- PASSAFIUME, A.; ROSSETTI, A.; VESCOVI, L.; MALAVOLTI, M.; BARALDI, C.; ROVESTI, S.; VINCETI, M.; FILIPPINI, T. Sulfur content in foods consumed in an Italian population and impact of diet quality on sulfur intake. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 123, 105543, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105543>.
- PI, X.; JIN, L.; LI, Z.; LIU, J.; ZHANG, Y.; WANG, L.; REN, A. Association between concentrations of barium and aluminum in placental tissues and risk for orofacial clefts. **Science of The Total Environment**, v. 652, p. 406-412, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.262>.
- POMPANO, L. M.; BOY, E. Effects of Dose and Duration of Zinc Interventions on Risk Factors for Type 2 Diabetes and Cardiovascular Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Advances in Nutrition**, v. 12, n. 1, p. 141-160, 2021. <https://doi.org/10.1093/advances/nmaa087>.
- PRUKSA, S.; SIRIPINYANOND, A.; POWELL, J. J.; JUGDAOHSINGH, R. Silicon balance in human volunteers; a pilot study to establish the variance in silicon excretion versus intake. **Nutrition and Metabolism**, v. 11, n. 4, 2014. <http://www.nutritionandmetabolism.com/content/11/1/4>.
- REHMAN, K.; FATIMA, F.; WAHEED, I.; AKASH, M. S. H. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. **Journal of Cellular Biochemistry**, v. 119, n. 1, p. 157-184, 2018. <https://doi.org/10.1002/jcb.26234>.
- RODRÍGUEZ, J.; VELÁSQUEZ, F.; ESPITIA, J.; ESCOBAR, S.; MENDIETA, O. Thermal performance evaluation of production technologies for non-centrifuged sugar for improvement in energy utilization. **Energy**, v. 152, p. 858-865, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.127>.
- RODUSHKIN, I.; BAXTER, D. C.; ENGSTRÖM, M. E.; HOOGEWERFF, J.; HORN, P.; PAPESCH, W.; WATLING, J.; LATKOCZY, C.; VAN DER PEIJL, G.; BERENDS MONTERO, S.; EHLENGER, J.; ZDANOWICZ, V. Elemental and isotopic characterization of cane and beet sugars. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 1, p. 70-78, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.05.005>.
- ROGERS, K. M.; PHILLIPS, A.; FITZGERALD, J.; ROGERS, P.; FERGUSON, C.; COOPER, J.; YUAN, Y. Authentication of Indonesian Coconut Sugar Using Stable Carbon Isotopes. **Food Analytical Methods**, v. 14, p. 1250-1255, 2021. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12161-021-01967-9>.

ROSS, A. C.; MANSON, J. E.; ABRAMS, S. A.; ALOIA, J. F.; BRANNON, P. M.; CLINTON, S. K.; DURAZO-ARVIZU, R. A.; GALLAGHER, J. C.; GALLO, R. L.; JONES, G.; KOVACS, C. S.; MAYNE, S. T.; ROSEN, C. J.; SHAPSES, S. The 2011 Report on Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D from the Institute of Medicine: What Clinicians Need to Know. **The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism**, v. 96, n. 1, p. 53-58, 2011. <https://doi.org/10.1210/jc.2010-2704>.

SAADI, S.; NACER, N. E.; ARIFFIN, A. A.; GHAZALI, H. M.; ABDULKARIM, S. M.; BOO, H. C.; MISKANDAR, M. S.; SAARI, N.; HAMID, A. A.; ANWAR, F. Discrimination of food adulteration by means of PCR and FTIR. **Food and Humanity**, v. 1, p. 1362-1378, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.10.008>.

SAMPAIO, M. R. F.; LISBOA, M. T.; TIMM, J. G.; RIBEIRO, A. S.; VIEIRA, M. A.; OTERO, D. M.; ZAMBIAZI, R. C. Multielemental determination in sugarcane products from the southern region of Brazil by microwave induced plasma optical emission spectrometry after acid decomposition with a reflux system. **Analytical Methods**, v. 12, p. 1360-1367, 2020. <https://doi.org/10.1039/c9ay02675d>.

SAMPAIO, M. R. F.; MACHADO, M. C.; LISBOA, M. T.; VIEIRA, M. A.; ZIMMER, T. B. R.; OTERO, D. M.; ZAMBIAZI, R. C. Physicochemical characterization and antioxidant activity of refined and unrefined sugarcane products from Southern Brazil. **Sugar Tech**, v. 25, n. 2, p. 295-307, 2023. <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01146-y>.

SANTOS, J. M.; QUINÁIA, S. P.; FELSNER, M. L. Fast and direct analysis of Cr, Cd and Pb in brown sugar by GF AAS. **Food Chemistry**, v. 260, p. 19-26, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.106>.

SANTOS, J. M.; ANDRADE, J. K.; GALVÃO, F.; FELSNER, M. L. Optimization and validation of ultrasound-assisted extraction for the determination of micro and macro minerals in non-centrifugal sugar by FAAS. **Food Chemistry**, v. 292, p. 66-74, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.037>.

SARAIVA, A.; CARRASCOSA, C.; RAMOS, F.; RAHEEM, D.; LOPES, M.; RAPOSO, A. Coconut Sugar: Chemical analysis and nutritional profile; health impacts; safety and quality control; food industry applications. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 20, n. 4, 3671, 2023. <https://doi.org/10.3390/ijerph20043671>.

SARAZIN, C.; DELAUNAY, N.; COSTANZA, C.; EUDES, V.; GAREIL, P.; VIAL, J. On the use of response surface strategy to elucidate the electrophoretic migration of carbohydrates and optimize their separation. **Journal of Separation Science**, v. 35, p. 1351-1358, 2012. <https://doi.org/10.1002/jssc.201101037>.

SCHAEFER, H. R.; DENNIS, S.; FITZPATRICK, S. Cadmium: Mitigation strategies to reduce dietary exposure. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 2, p. 260-267, 2020. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14997>.

SHLISKY, J.; MANDLIK, R.; ASKARI, S.; ABRAMS, S.; BELIZAN, J. M.; BOURASSA, M. W.; CORMICK, G.; DRILLER-COLANGELO, A.; GOMES, F.; KHADILKAR, A.; OWINO, V.; PETTIFOR, J. M.; RANA, Z. H.; ROTH, D. E.; WEAVER, C. Calcium deficiency worldwide: prevalence of inadequate intakes and associated health outcomes. **Annals of the New York Academy Sciences**, v. 1512, n. 1, p. 10-28, 2022. <https://doi.org/10.1111/nyas.14758>.

SHOKUNBI, O. S.; ADEPOJU, O. T.; MOJAPELO, P. E. L.; RAMAITE, I. D. I.; AKINYELE, I. O. Copper, manganese, iron and zinc contents of Nigerian foods and estimates of adult dietary intakes. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 82, 103245, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103245>.

SHOKUNBI, O. S.; ADEPOJU, O. T.; RAMAITE, I. D. I.; SHOKUNBI, O. S.; MOJAPELO, P. E. L.; AKINYELE, I. O. Potassium, sodium, calcium and magnesium levels of commonly consumed foods and estimates of dietary intakes of selected Nigerian adults. **Heliyon**, v. 9, n. 3, e13729, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13729>.

SILVA, F. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; ARAÚJO, P. R. M.; SILVA, L. H. V.; SILVA, R. F. Assessing heavy metal sources in sugarcane Brazilian soils: an approach using multivariate analysis. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 188, n. 457, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5409-x>.

SILVA JÚNIOR, E. C.; DURAN, N. M.; LESSA, J. H. L.; RIBEIRO, P. G.; WADT, L. H. O.; SILVA, K. E.; LIMA, R. M. B.; BATISTA, K. D.; GUEDES, M. C.; Júnior, R.C.O., Carvalho, H.W.P., Reis, A.R., Lopes, G., Guilherme, L.R.G. Unraveling the accumulation and localization of selenium and barium in Brazil nuts using spectroanalytical techniques. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 106, 104329, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104329>.

SIMÃO, M.; CANCELA, M. L. Musculoskeletal complications associated with pathological iron toxicity and its molecular mechanisms. **Biochemical Society Transactions**, v. 49, n. 2, p. 747-759, 2021. <https://doi.org/10.1042/BST20200672>.

SINGH, A.; LAL, U. R.; MUKHTAR, H. M.; SINGH, P. S.; SHAH, G.; DHAWAN, R. K. Phytochemical profile of sugarcane and its potential health aspects. **Pharmacognosy Reviews**, v. 9, n. 17, p. 45-54, 2015. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.156340>.

SMITA, R. M.; SHUVO, A. P. R.; RAIHAN, S.; JAHAN, R.; SIMIN, F. A.; RAHMAN, A.; BISWAS, S.; SALEM, L.; SAGOR, M. A. T. The role of mineral deficiencies in insulin resistance and obesity. **Current Diabetes Reviews**, v. 18, n. 7, 2022. <https://doi.org/10.2174/157339981866621117104626>.

SOH, B.; HAN, Y.; CHO, S. Y.; CHOI, S.; CHUNG, H.; LEE, K. Assessing cobalt and manganese in foods: A study on determination and health risk using inductively coupled plasma spectrometry. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 133, 106394, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106394>.

SÓLIS-FUENTES, J. A.; HERNÁNDEZ-CEJA, Y.; HERNÁNDEZ-MEDEL, M. R.; GARCÍA-GÓMEZ, R. S.; BERNAL-GONZÁLEZ, M.; MENDOZA-PÉREZ, S.; DURÁN-DOMÍNGUEZ-DE-BAZÚA, M. C. Quality improvement of jaggery, a traditional sweetener, using bagasse activated carbon. **Food Bioscience**, v. 32, 100444, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100444>.

SONONE, S. S.; JADHAV, S.; SANKHLA, M. S.; KUMAR, R. Water contamination by heavy metals and their toxic effect on aquaculture and human health through food chain. **Letters in Applied NanoBioScience**, v. 10, n. 2, p. 2148-2166, 2020. <https://doi.org/10.33263/LIANBS102.21482166>.

SREEDEVI, P.; JAYACHANDRAN, L. E.; RAO, P. S. Browning and bioactive composition of sugarcane juice (*Saccharum officinarum*) as affected by high hydrostatic pressure processing. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 12, p. 1962–1971, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9811-7>.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS (TACO). Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação/Universidade Estadual de Campinas, 4<sup>o</sup> Edição, p. 161, 2011. [https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco\\_4\\_edicao\\_ampliada\\_e\\_revisada.pdf](https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf).

TAKEDA, E.; YAMAMOTO, H.; YAMANAKA-OKUMURA, H.; TAKETANI, Y. Increasing Dietary Phosphorus Intake from Food Additives: Potential for Negative Impact on Bone Health. **Advances in Nutrition**, v. 5, n. 1, p. 92-97, 2014. <https://doi.org/10.3945/an.113.004002>.

TEKLEMARIAM, T. A.; CHOU, F.; KUMARAVEL, P.; BUSKRIK, J. V. ATR-FTIR spectroscopy and machine/deep learning models for detecting adulteration in coconut water with sugars, sugar alcohols, and artificial sweeteners. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 322, 124771, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2024.124771>.

TIAN, J.; WEI, X.; ZHAN, W.; XU, A. Effects of selenium nanoparticles combined with radiotherapy on lung cancer cells. **Frontiers in Bioengineering Biotechnology**, v. 8, 598997, 2020. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.598997>.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Agricultural Research Service. Usual Nutrient Intake from Food and Beverages, by Gender and Age, What We Eat in America, NHANES 2015-2018. Washington DC. USDA, mai. 2021. [www.ars.usda.gov/nea/bhnrc/fsrg](http://www.ars.usda.gov/nea/bhnrc/fsrg).

VELÁSQUES, F.; ESPITIA, J.; MENDIETA, O.; ESCOBAR, S.; RODRÍGUEZ, J. Non-centrifugal cane sugar processing: A review on recent advances and the influence of process variables on qualities attributes of final products. **Journal of Food Engineering**, v. 255, p. 32-40, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.009>.

WANG, C.; ZHANG, J.; PEI, Y.; LI, C.; LI, Y.; CHEN, S.; WANG, Z. Visualized electrochemiluminescence detection of trace copper in practical food samples. **Food Chemistry**, v. 451, 139461, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139461>.

WANG, J.; KLIKS, M. M.; JUN, S.; JACKSON, M.; LI, Q. X. Rapid analysis of glucose, fructose, sucrose, and maltose in honeys from different geographic regions using fourier transform infrared spectroscopy and multivariate analysis. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 2, p. C208-214, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.17503841.2009.01504.x>.

WANG, J.; JIN, M.; ZHENG, J.; CHEN, Y.; SUN, T.; ZHENG, Y.; LAW, D.; WANG, D.; SHEN, B. Sociodemographic and clinical factors influencing serum potassium concentration: A retrospective cohort study. **Computational and Structural Biotechnology Journal**, v. 24, p. 1-11, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2023.11.044>.

WANG, N.; XIE, D.; WU, J.; WU, Z.; HE, H.; YANG, Z.; YANG, T.; WANG, Y. Selenium and bone health: A protocol for a systematic review and meta-analysis. **BMJ. Open**, v. 10, n. 10, e036612, 2020. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-036612>.

WANG, Y.; WANG, D.; HAO, H.; CUI, J.; HUANG, L.; LIANG, Q. The association between cadmium exposure and the risk of chronic obstructive pulmonary disease: A systematic review and meta-analysis. **Journal of Hazardous Materials**, v. 469, 133828, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133828>.

WILLIAM, J. H.; RICHARDS, K.; DANZIGER, J. Magnesium and Drugs Commonly Used in Chronic Kidney Disease. **Advances in Chronic Kidney Disease**, v. 25, n. 3, p. 267-273, 2018. <https://doi.org/10.1053/j.ackd.2018.01.005>.

YAN, W.; LIU, X.; ZHANG, G. Identification of potential food sources affecting blood lead levels and their health hazards (CVD, respiratory diseases, cancer). **Science of The Total Environment**, v. 906, 167505, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167505>.

YU, Y.; YANG, J. Oral bioaccessibility and health risk assessment of vanadium (IV) and vanadium (V) in a vanadium titanomagnetite mining region by a whole digestive system in-vitro method (WDSM). **Chemosphere**, v. 215, p. 294-304, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.042>.

ZHANG, Y.; HUAN, J.; GAO, D.; XU, S.; HAN, X.; SONG, J.; WANG, L.; ZHANG, H.; NIU, Q.; LU, X. Blood pressure mediated the effects of cognitive function impairment related to aluminum exposure in Chinese aluminum smelting workers. **Neurotoxicology**, v. 91, p. 269-281, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2022.05.017>.

ZHU, Z.; XIE, C.; LI, W.; HANG, F.; LI, K.; SHI, C.; DOHERTY, W. O. S. Nutritional and antioxidant properties of non-centrifugal cane sugar derived from membrane clarified juice. **LWT - Food Science Technology**, v. 131, 109717, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109717>.