



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**TEORES DE NUTRIENTES MINERAIS E METAIS PESADOS EM AÇÚCAR
MASCADO PRODUZIDO POR DIFERENTES SISTEMAS ORGÂNICOS E
CONVENCIONAIS**

PAULO DIRCEU LUCHINI

Araras

2014



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**TEORES DE NUTRIENTES MINERAIS E METAIS PESADOS EM AÇÚCAR
MASCADO PRODUZIDO POR DIFERENTES SISTEMAS ORGÂNICOS E
CONVENCIONAIS**

PAULO DIRCEU LUCHINI

ORIENTADOR: PROF.^a DR.^a MARIA TERESA MENDES RIBEIRO BORGES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural como requisito parcial à obtenção do título de MESTRE EM AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL

Araras

2014

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

L936tn

Luchini, Paulo Dirceu.

Teores de nutrientes minerais e metais pesados em açúcar mascavo produzido por diferentes sistemas orgânicos e convencionais / Paulo Dirceu Luchini. -- São Carlos : UFSCar, 2014.
49 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2014.

1. Agroecologia. 2. Nutrientes minerais. 3. Metais pesados. 4. Açúcar mascavo. I. Título.

CDD: 630 (20^a)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DE

PAULO DIRCEU LUCHINI

APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL, DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DE SÃO CARLOS, **EM 29 DE AGOSTO 2014.**

BANCA EXAMINADORA:



PROF^a. DR^a. MARIA TERESA MENDES RIBEIRO BORGES
ORIENTADORA
(UFSCar)



PROF^a. DR^a MARA MERCEDES DE ANDREA
(Inst. Biol. São Paulo)



PROF^a. DR^a. MARTA REGINA VERRUMA-BERNARDI
(UFSCar)

*A minha esposa, **Gislane Anunciação** por seu incansável companheirismo que estiveram sempre presente, compartilhando os meus ideias e com muita paciência, sem reclamar do tempo que deixei de passar ao seu lado, para me dedicar a este trabalho. Amo você!*

*As minhas queridas filhas **Ingrid** e **Isadora** pela compreensão, carinho e amor que sempre tiveram comigo.*

*Aos meus pais, **Oswaldo** (in memoriam) e **Iva Bonanho** (in memoriam) por terem me feito existir, pela criação dos meus valores éticos e morais, por tanto amor, por tudo que sou, e que apesar das inúmeras dificuldades, sempre havia uma palavra de incentivo e confiança incondicional.*

*Aos meus irmãos queridos, **Luiz Carlos**, **Elisabete Aparecida** e **Ana Alice** muito obrigada pelo carinho e amor que sempre demonstraram em todos os momentos em que estivemos juntos.*

Dedico!

AGRADECIMENTOS

*"Cada um que passa em nossa vida,
passa sozinho, pois cada pessoa é única
e nenhuma substitui outra.
Cada um que passa em nossa vida,
passa sozinho, mas não vai só
nem nos deixa sós.
Leva um pouco de nós mesmos,
deixa um pouco de si mesmo.
Há os que levam muito,
mas há os que não levam nada.
Essa é a maior responsabilidade de nossa vida, e
a prova de que duas almas
não se encontram ao acaso".*

Saint-Exupéry

Ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural da UFSCar e todos os seus professores, agradeço o privilégio que tive em frequentar este Mestrado que muito contribuiu para o enriquecimento da minha formação acadêmica e científica.

Ao amigo Gilberto do Laboratório de Análises e Simulação Tecnológica (LAST/UFSCar), pela cordialidade e atenção durante esses dois anos de curso.

Aos colegas de mestrado da turma 2012 em especial Daniel, Aline, Marina e Vanessa, pela amizade, paciência, pelos ensinamentos, troca de conhecimentos e vivência.

À Secretária da Pós-Graduação Tereza Cristina Roesler Ré pela amizade, carinho e confiança pela ajuda nessa etapa da minha vida.

Ao meu grande amigo Fausto Minguetti pelo companheirismo e apoio em relação a esta jornada.

Aos Diretores da Toxikón – Assessoria Toxicológica Dr. Jaime Leyton, Dr. Henrique Vicente Della Rosa e Dra. Isa Gritte Della Rosa, por permitir me ausentar dos meus afazeres do laboratório e compreender da importância desse curso para minha formação profissional. Muito obrigado!

Ao amigo Eng. Ricardo Aldunate que nunca poupou esforços para me auxiliar durante toda a trajetória desse trabalho, pelo carinho e companheirismo desses trinta anos de amizade.

Aos mestres da Toxicologia do Instituto Médico Legal de São Paulo, Dr. Joselito B. Brandão, Dr. Moisés Chasin, Prof.^a Dr.^a Irene Videira, Prof.^a Dr.^a Vilma Leyton, as amigas Sueli de Moraes e Senise Ribeiro (in memoriam), foram os percussores e grandes incentivadores dessa conquista.

Ao Prof. Dr. Amarildo Otávio Martins que me recebeu com cordialidade e presteza na UFSCar, abrindo as portas para o meu ingresso na pós-graduação ao me indicar para a minha orientadora. Muito obrigado!

Aos meus cunhados, Carlos Alberto, Ary, Dorival, Edgar, as minhas cunhadas Mara, Adriana, aos meus sobrinhos, Érica, Danilo, Igor, Thaís, Sofia, Lorena, Ana Carolina, Miguel e Heitor (in memoriam) e aos meus sogros Claudette e Ary (in memoriam), pelo carinho e bons momentos vividos.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

À minha admirável amiga e orientadora, Prof.^a Dr.^a **Maria Teresa Mendes Ribeiro Borges** pela firmeza e paciência para me orientar durante esse árduo percurso, além da confiança depositada, pelas palavras de incentivo e carinho que me fizeram acreditar que era possível a realização desse trabalho.

À Prof.^a Dr.^a **Marta Regina Verruma-Bernardi** por quem minha admiração pessoal e profissional cresce a cada momento, quero agradecer pelo ato generoso e desprendido, pelo apoio, revisão do manuscrito e valiosas sugestões prestadas por ocasião do exame de qualificação e da banca de dissertação, me permitiram encontrar informações e soluções que em muito contribuíram para a execução desta dissertação.

Ao amigo e Prof. Dr. **Rubismar Stolf** pela acolhida e solicitude que sempre me recebeu em sua sala, pelos conhecimentos repassados na sua disciplina, e, em especial pelas críticas construtivas e sugestões prestadas por ocasião do exame de qualificação.

À Prof.^a Dr.^a **Alice Aparecida da Matta Chasin** por despertar em mim o interesse pela Ciência em especial à Toxicologia, que sempre foi uma enorme fonte de inspiração e conhecimento durante toda a minha formação, pelo apoio sempre prestado, e pela disponibilidade em contribuir com suas sugestões e críticas construtivas neste trabalho participando da banca de qualificação.

À Prof.^a Dr.^a **Mara Mercedes de Andrea** pela competência científica e pelo inestimável apoio na formatação e dicas da apresentação da minha qualificação, na elaboração e correções do abstract, pelas leituras que fez ao meu trabalho, por suas críticas construtivas participando da banca de dissertação, pelo incansável apoio moral e permanente disponibilidade e amizade.

Ao Prof. Dr. **Luiz Carlos Luchini** pela imensa contribuição na disponibilização dos equipamentos para análises dos nutrientes minerais e metais pesados,

pelos pertinentes apontamentos que engrandeceram esse estudo, pelo apoio durante todo a minha trajetória pessoal, acadêmica e profissional.

A todos, muito obrigado.

EPÍGRAFE

Psicanálise do açúcar

*O açúcar cristal, ou açúcar de usina,
mostra a mais instável das brancuras:
quem do Recife sabe direito o quanto,
e o pouco desse quanto, que ela dura.
Sabe o mínimo do pouco que o cristal
se estabiliza cristal sobre o açúcar,
por cima do fundo antigo, de mascavo,
e sabe que tudo pode romper o mínimo
em que o cristal é capaz de censura:
pois o tal fundo do mascavo logo aflora
quer inverno ou verão mele o açúcar.*

*Só os bangüês que ainda purgam ainda
o açúcar bruto com barro, de mistura;
a usina já não o purga: da infância
não de depois de adulto, ela educa;
em enfermarias, com vácuos e turbinas,
em mãos de metal de gente indústria,
a usina o leva a sublimar em cristal
o pardo do xarope: não o purga, cura.
Mas como a cana se cria anda hoje,
em mãos de barro de gente agricultora,
o barrento da pré-infância logo aflora
quer inverno ou verão mele o açúcar.*

*(João Cabral de Melo Neto, Rio de Janeiro: Nova
Aguilar, 1994, p. 356).*

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	ii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	04
2.1. Agricultura orgânica.....	04
2.2. Alimentos orgânicos <i>Versus</i> convencionais.....	05
2.3. Açúcar orgânico.....	08
2.4. Açúcar mascavo.....	09
2.5. Qualidade do açúcar mascavo.....	10
2.6. Nutrientes minerais e metais pesados.....	11
2.7. Segurança alimentar e nutricional.....	14
2.8. Elementos traços na nutrição e saúde.....	15
2.9. Métodos instrumentais utilizados na determinação dos elementos traços inorgânicos.....	16
2.9.1. Espectrometria de absorção atômica.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1. Produção da cana de açúcar: caracterização da área, plantio, adubação e colheita.....	18
3.2. Produção do açúcar mascavo.....	18
3.3. Análise de minerais e metais pesados.....	19
3.4. Limpeza de vidrarias.....	21
3.5. Reagentes e soluções.....	21
3.6. Performance dos elementos estudados.....	21
3.7. Digestão das amostras.....	23
3.8. Análise estatística.....	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24

4.1. Metais pesados.....	24
4.2. Nutrientes minerais.....	27
5. CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

ÍNDICE DE TABELAS

	Pag.
Tabela 1 – Análise comparativa do conteúdo de nutrientes e outras substâncias em produtos agrícolas produzidos no sistema de manejo orgânico e convencional.....	05
Tabela 2 – Número de estudos que comparam a variação da composição nutricional de alimentos obtidos na produção orgânica e convencional na literatura mundial.....	08
Tabela 3 – Valor nutritivo dos minerais na rapadura, açúcar refinado e açúcar mascavo para cada (mg/100g).....	09
Tabela 4 – Teores máximos de contaminantes metálicos em açúcar mascavo.....	13
Tabela 5 – Classificação dos metais de acordo com a função biológica e toxicidade.....	14
Tabela 6 – Tratamentos da cana-de-açúcar utilizados para fabricação de açúcar mascavo.....	18
Tabela 7 – Parâmetros instrumentais para determinação por absorção atômica com chama e forno de grafite dos elementos estudados.....	19
Tabela 8 – Limites de Detecção (LOD) e Limites Quantificação (LOQ) em mg kg^{-1}	22
Tabela 9 – Valores médios (mg kg^{-1}) dos teores metais pesados encontrados nas amostras de açúcar mascavo proveniente de cana de açúcar de diferentes tratamentos.....	24
Tabela 10 – Teores de nutrientes encontrados nas amostras de açúcar mascavo dos diferentes tratamentos (mg kg^{-1} ; n=6) e limites de diferentes organizações (em cinza).....	27

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1 – Instrumentos utilizados na preparação e na determinação dos teores nutrientes minerais e metais pesados.....	20

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AAS – Espectrometria de Absorção Atômica (*Atomic Absorption Spectrometry*)
- AOAC – *Association of Official Analytical Chemists*
- ARSO – *The African Organisation for Standardisation*
- ATSDR – *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*
- FAAS – Espectrometria de Absorção Atômica com Chama (*Flame Atomic Absorption Spectrometry*)
- GF AAS – Espectrometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite (*Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry*)
- HNO₃ – Ácido nítrico
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
- ICP-MS – Espectrometria de Massa com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (*Inductively Plasma Mass Spectrometry*)
- INAA – Análise Instrumental de Ativação de Nêutrons (*Instrumental Neutron Activation Analysis*)
- LD – Limite de detecção
- LQ – Limite de quantificação
- MilliQ – Água destilada ultra purificada
- µg L⁻¹ – Micrograma por litro
- mg L⁻¹ – Miligrama por litro
- mg kg⁻¹ – Miligrama por quilo
- µg g⁻¹ – Micrograma por grama
- mg 100g⁻¹ – Miligrama em 100 gramas
- TACO – Tabela Brasileira de Composição de Alimentos
- UL- Nível Máximo Tolerável de Ingestão (*Tolerable Upper Intake Level*)
- WHO – *World Health Organization*

TEORES DE NUTRIENTES MINERAIS E METAIS PESADOS EM AÇÚCAR MASCADO PRODUZIDO POR DIFERENTES SISTEMAS ORGÂNICOS E CONVENCIONAIS.

Autor: PAULO DIRCEU LUCHINI

Orientador: PROF.^a DR.^a MARIA TERESA MENDES RIBEIRO BORGES

RESUMO

Quantificou-se os teores de Cu, Zn, Mn, Fe, Pb e Cd em açúcar mascado oriundo de canas produzidas por diferentes formas de cultivo de sistemas orgânicos e convencionais. Os metais Pb e Cd foram determinados por espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica em forno de grafite (GFAA) e os metais Cu, Zn, Mn e Fe foram determinados por espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS). Os teores de Cu, Zn, Mn e Fe foram detectados apenas em valores abaixo do limite recomendado pela Organização Mundial de Saúde. O açúcar mascado proveniente de plantações de cana usando o sistema convencional sem calcário, mas com adubo químico, apresentou as maiores concentrações de Cu, Zn, Mn e Fe, e o sistema orgânico com corretivo e composto orgânicos foi o que apresentou menores concentrações. Os teores de Pb encontrados nas amostras de: sistema convencional com corretivo orgânico e adubo químico; sistema orgânico com calcário e composto orgânico; sistema convencional com calcário e adubo químico foram maiores do que o limite tolerável da Agência Nacional de Vigilância Sanitária para o açúcar. O Cd não foi detectado em nenhuma das amostras analisadas. Os resultados indicam a necessidade de estudos contínuos de monitoramento do açúcar mascado produzido em sistema orgânico para assegurar a segurança alimentar.

LEVELS OF MINERALS AND HEAVY METALS IN BROWN SUGAR PRODUCED BY DIFFERENT ORGANIC AND CONVENTIONAL SYSTEMS

Author: PAULO DIRCEU LUCHINI

Adviser: PROF.^a DR.^a MARIA TERESA MENDES RIBEIRO BORGES

ABSTRACT

The levels of Cu, Zn, Mn, Fe, Pb and Cd were determined in brown sugar from sugar cane produced by different crop systems in the organic and conventional systems. Pb e Cd were determined by atomic absorption spectrometry with electro thermal atomization in graphite furnace (GFAA), and the mineral metals Cu, Zn, Mn and Fe were determined by flame atomic absorption spectrometry (FAAS). Cu, Zn, Mn and Fe were detected but in levels below the limits recommended by the World Health Organization. The brown sugar from the conventional system without limestone but with chemical fertilizer showed the highest concentration of Cu, Zn, Mn and Fe, and that from the organic system with liming and organic compost showed the lowest concentrations. The levels of Pb found in samples from: conventional system with organic amendment and chemical fertilizer, and with liming and chemical fertilizer, and from organic system with liming and organic compost were higher than the tolerable limit for the Brazilian National Health Surveillance Agency for sugar. Cd was never detected. The results indicate the need of constant monitoring studies of the brown sugar produced in organic systems to assure its food safety.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura é uma das mais antigas atividades humanas e está sempre em transformação (DREW, 2005). Nas últimas décadas, a partir da Revolução Verde e da industrialização da agricultura visando aumentar a produção agrícola no mundo, têm-se utilizado técnicas de melhoramento genético de sementes, além de uso intensivo de insumos industriais e da mecanização (TEIXEIRA, 2005). Por outro lado, a agricultura industrial vem contribuindo para inúmeras formas de degradação do meio ambiente, incluindo perda de biodiversidade, dependência excessiva de combustíveis fósseis não renováveis, erosão do solo e poluição do ar e da água causadas pelo uso de fertilizantes e pesticidas com agravos à saúde humana. A perda da biodiversidade, especialmente, torna esse tipo de agricultura contrária aos princípios básicos do desenvolvimento sustentável (HORRIGAN et al., 2002; BALSAN, 2006).

A análise comparativa de sistemas de produção não deixa dúvida dos problemas causados pelo sistema convencional e tem mostrado que os agricultores orgânicos que seguem um enfoque ecológico têm conseguido resultados satisfatórios em vários aspectos ligados à sustentabilidade, com o restabelecimento da heterogeneidade dos habitats agrícolas e o reforço da biodiversidade agrícola, sendo mais eficiente em termos energéticos e produzindo menor quantidade de gases de efeito estufa (DAROLT, 2009).

O açúcar mascavo orgânico é o açúcar bruto, escuro e úmido, extraído depois do cozimento do caldo de cana. Como o açúcar mascavo não passa pela etapa de refinamento, ele conserva o cálcio, o ferro e os sais minerais. O seu processamento segue princípios internacionais da agricultura orgânica e é anualmente certificado pelos órgãos competentes. Na produção do açúcar orgânico todos os fertilizantes químicos são substituídos por um sistema integrado de nutrição orgânica para proteger o solo e melhorar suas características físicas e químicas (VIEIRA, 2007). A utilização de substâncias e produtos autorizados para uso como fertilizantes, calcário, pó de rochas, biofertilizantes, corretivos e o manejo de pragas em sistemas orgânicos de produção, devem seguir as normas no plano de manejo orgânico de acordo

com a portaria nº 990 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2013).

A vida moderna tem causado grandes mudanças em nosso comportamento e hábitos alimentares. A mudança de comportamento social, ambiental e ético de uma sociedade ávida por alimentos mais saudáveis e cujos sistemas de cultivo sejam menos prejudiciais à saúde humana e meio ambiente tem levado a um aumento significativo da procura de produtos provenientes de produção de base agroecológica (MINGUETTI, 2012). Diante deste contexto a agroecologia assume um papel importante na transição e formulação de uma nova ciência apoiada em modelos de desenvolvimento rural e de agriculturas mais sustentáveis (SAMINÉZ et al., 2008).

Nos últimos anos o açúcar mascavo orgânico brasileiro tem sido destaque nas maiores feiras de produtos orgânicos do mundo como, por exemplo, a Feira Internacional de Produtos Orgânico e Agroecologia - Biofach de 2012. Como representante do Brasil na feira, a cooperativa Cooper Terra composta por 185 famílias de pequenos agricultores comercializa cerca de 100 toneladas de açúcar mascavo por mês, tendo sua produção destinada ao abastecimento da população na forma de adoçante e na indústria alimentícia nas formulações de alimentos, como pães, doces, geleias e biscoitos (ECOFINANÇAS, 2012).

A determinação de nutrientes minerais e metais pesados em produtos agrícolas oriundos do sistema orgânico têm um papel importante no levantamento de dados sobre a qualidade nutricional e segurança alimentar desses produtos, em comparação ao sistema convencional.

Nas últimas décadas a técnica analítica de espectrometria de absorção atômica tem tido um papel significativo nos estudos envolvendo não apenas a determinação de nutrientes minerais e metais pesados em plantas e alimentos (YAHAYA et al., 2012; SILVA et al., 2010). Estudos complementares também têm sido feitos para identificar as formas químicas e a estrutura dos compostos aos quais diferentes nutrientes minerais estão associados e para indicar seus efeitos sobre a saúde humana (MISHRA et al., 2010; DALLATU et al., 2013).

Desta forma, a quantificação de nutrientes minerais e metais pesados se constitui uma ferramenta adicional na geração de novos conhecimentos científicos sobre os diferentes sistemas de produção de alimentos e, por isso, o objetivo deste trabalho foi o de quantificar os teores dos nutrientes minerais Cu, Zn, Mn, Fe e dos metais pesados Pb e Cd em açúcar mascavo oriundo de cana-de-açúcar produzidas por cultivo orgânico e convencional.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Agricultura orgânica

Na década de 1920 surgiram quase que simultaneamente alguns movimentos contrários à adubação química, que valorizavam o uso da matéria orgânica e de outras práticas culturais favoráveis aos processos biológicos. Esses movimentos podem ser agrupados em quatro grandes vertentes: a agricultura biodinâmica, a orgânica, a biológica e a natural. Com o passar do tempo apareceram outras designações variantes das quatro vertentes citadas ou denominações recentes de uso restrito, tais como: permacultura, agricultura ecológica, ecologicamente apropriada, regenerativa, agricultura poupadora de insumos e renovável. Na década de 1970, o conjunto dessas vertentes passaria a ser chamado de agricultura alternativa e logo depois, o termo agricultura orgânica passou a ser comumente usado com o sentido de agricultura alternativa (SAMINÉZ et al., 2008).

A Federação Internacional de Movimentos de Agricultura Orgânica (IFOAM, 2008) define agricultura orgânica como sendo um sistema de produção que sustenta a saúde dos solos, dos ecossistemas e das pessoas. Ele se baseia em processos ecológicos, da biodiversidade e ciclos adaptados às condições locais, ao invés do uso de insumos com efeitos adversos. A agricultura orgânica combina tradição, inovação e ciência para beneficiar o meio ambiente compartilhado e promovendo relações justas e boa qualidade de vida para todos os envolvidos.

De acordo com Brasil (2003) define-se sistema orgânico de produção agropecuária todo aquele em que são adotadas técnicas específicas, mediante a otimização do uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis e o respeito à integridade cultural das comunidades rurais. Ele tem, por objetivo a sustentabilidade ecológica e econômica, a maximização dos benefícios sociais, à minimização da dependência de energia não renovável, empregando sempre que possível, métodos culturais, biológicos e mecânicos e a proteção do meio ambiente. O método está em contraposição ao uso de materiais sintéticos, à eliminação do uso de organismos geneticamente modificados e radiações

ionizantes, em qualquer fase do processo de produção, processamento, armazenamento, distribuição e comercialização.

2.2. Alimentos orgânicos *versus* convencionais

Dangour et al. (2009) analisaram todos os trabalhos relacionados com o teor de nutrientes publicados nos últimos 50 anos e verificaram pequenas diferenças nos teores de nutrientes nos alimentos produzidos orgânica e convencionalmente. Estas diferenças são biologicamente aceitáveis porque, é pouco provável que sejam de relevância para a saúde pública. Nossa análise indica que não há atualmente nenhuma evidência que apoie a seleção de alimentos produzidos organicamente, em detrimento dos produzidos convencionalmente, com base na superioridade nutricional (Tabela 1).

Tabela 1. Análise comparativa do conteúdo de nutrientes e outras substâncias em produtos agrícolas produzidos no sistema de manejo orgânico e convencional.

Nutrientes	número de pesquisas	número de comparações	maior nível no produto
Nitrogênio	17	64	Convencional
Vitamina C	14	65	Sem diferença
Compostos fenólicos	13	80	Sem diferença
Magnésio	13	35	Sem diferença
Cálcio	13	37	Sem diferença
Fósforo	12	35	Orgânico
Potássio	12	34	Sem diferença
Zinco	11	30	Sem diferença
Sólidos solúveis totais	11	29	Sem diferença
Cobre	11	30	Sem diferença
Acidez titulável	10	29	Orgânico

FONTE: Adaptado de Dangour (2009); citado por Boaretto; Moraes (2010).

Em um estudo de extração sequencial, Nascimento et al. (2013) determinaram teores de ferro e cobre em plantas olerícolas provenientes de cultivo orgânico e convencional, comercializadas em Imperatriz no Maranhão. O ferro e o cobre disponíveis presente no pepino e na abobrinha de cultivo convencional foi maior que os teores encontrados nessas mesmas hortaliças

de sistema orgânico. Dentre as hortaliças avaliadas, a abobrinha orgânica foi o que apresentou o menor teor de cobre detectado.

No contraponto dessas controvérsias, um estudo conduzido por Lairon (2009) concluiu que as plantas orgânicas contêm mais matéria seca e micronutrientes como ferro e magnésio, antioxidantes como fenóis e ácido salicílico, e que a carne dos animais criados em sistema orgânico tinha mais ácidos graxos poliinsaturados.

De acordo com Arbos et al. (2010), ficou evidente a superioridade das hortaliças provenientes do cultivo orgânico, quando comparadas às obtidas no sistema convencional. O sistema empregado no cultivo de hortaliças contribui concomitantemente com o maior teor de compostos fenólicos, para uma atividade antioxidante mais efetiva das hortaliças orgânicas. Rembiałkowska (2007) relata que além de frutas e legumes cultivados nos preceitos agroecológicos terem apresentado qualidades nutricionais e físico-químicas superiores, os vegetais orgânicos mantêm uma melhor qualidade durante um período longo de armazenamento. Segundo o autor, ocorrem menores perdas de massa durante o processo de transpiração, deterioração e decomposição nos alimentos orgânicos. Uma possível razão para isso seria o maior teor de matéria seca, minerais, açúcares e outros compostos bioativos.

Segundo Silva et al. (2010), a determinação do teor total do nutriente mineral ingerido pelo organismo não possibilita traçar um perfil da eficiência de sua absorção. A necessidade de se conhecer a biodisponibilidade do nutriente mineral, ou seja, a proporção do nutriente mineral que é absorvido e utilizado pelo organismo é de suma importância para a nutrição humana.

Apesar de existirem muitas publicações sobre alimentos orgânicos, poucos discutem os aspectos nutricionais e de segurança alimentar desses alimentos, e vários apresentam resultados conflitantes quando se comparam os dois sistemas: orgânico e convencional na produção de alimentos. A carência de estudos que aprofundem a problemática da contaminação por metais pesados nos alimentos orgânicos e as consequências potenciais sobre a saúde humana ainda são escassas.

Martins et al. (2009) analisaram o teor de cádmio em produtos à base de cereais, de origem convencional e biológica, destinados à alimentação infantil e obtiveram teores de cádmio situados entre 1,2 e 9,0 $\mu\text{g kg}^{-1}$ e 9,0 e 69,0 $\mu\text{g kg}^{-1}$ peso fresco, respectivamente. Segundo os autores os teores de cádmio encontrados são superiores nas amostras biológicas quando comparados com as de origem convencional. Em outro estudo realizado por Machado et al. (2008) com amostras de alface cultivada com diferentes adubos orgânicos, os maiores teores de chumbo foram encontrados nas amostras cultivadas com cama de frango e torta de mamona, e os valores estavam acima do limite máximo permitido pelo *Codex Alimentarius*.

É o que acontece, por exemplo, em relação ao conteúdo de vitamina C. Alguns estudos comparativos entre sistemas orgânicos e convencionais mostram níveis superiores de vitamina C em alimentos orgânicos, enquanto outros mostram não haver diferença ou ainda níveis mais baixos. Em vista dos resultados insuficientes para conclusões definitivas e dada a grande importância desse tipo de estudos, é necessário à realização de novas pesquisas na área, para a geração de conhecimentos que consolidem a estruturação, o fortalecimento e a credibilidade do sistema orgânico de produção de alimentos (SANTOS; MONTEIRO, 2004).

Segundo Darolt (2009) a maioria dos estudos sobre a qualidade nutricional de alimentos orgânicos e convencionais faz comparações de teores de nutrientes e outros elementos entre os dois sistemas; entretanto são praticamente inexistentes os estudos de cunho epidemiológico que fazem uma associação com a saúde humana. Assim, os benefícios dos alimentos orgânicos para a saúde não podem ser diretamente associados apenas à questão nutricional em si, mas devem ser contextualizados.

No entanto vale ressaltar que diante da complexidade que envolve a diversidade do agroecossistema, os parâmetros para determinação da qualidade nutricional dos produtos orgânicos derivados da cana de açúcar como melado, rapadura e açúcar mascavo ou até mesmo outros tipos de alimentos são, segundo Darolt (2009), multifatoriais. Por isso condições de solo, clima, variabilidade genética mesmo dentro de uma mesma variedade de

planta podem apresentar diferenças significativas entre o modo de produção orgânico e o convencional. A Tabela 2 mostra uma comparação da composição nutricional de alimentos produzidos no sistema orgânico e convencional.

Tabela 2. Número de estudos que comparam a variação da composição nutricional de alimentos obtidos na produção orgânica e convencional na literatura mundial.

Nutrientes	aumento em orgânicos	Igual	decréscimo em orgânicos
Matéria seca	18	28	5
Açúcares, glicídios	4	5	3
Minerais*	44	156	24
Cálcio (Ca)	6	32	5
Potássio (K)	10	30	9
Magnésio (Mg)	15	27	1
Cobre (Cu)	5	16	2
Ferro (Fe)	6	16	0
Manganês (Mn)	0	13	4
Selênio (Se)	0	2	1
Zinco (Zn)	2	19	1
Nitrato**	0	3	9
Vitamina C	21	15	3
Polifenóis, flavonóides, ácidos fenólicos e outros antioxidantes	11	9	1

Fonte: Adaptado de Stertz (2004); citado por Darolt (2009).

Nota 1: Os valores são referentes ao número de estudos encontrados na literatura que mostram quando houve um aumento, valor semelhante ou decréscimo para as determinações de nutrientes pesquisados em alimentos orgânicos, quando comparados ao sistema convencional.

Nota 2*: Minerais (Ca + K + Mg + Cu + Fe + Mn + Se + Zn)

Nota 3**: Teor de nitrato elevado pode ser potencialmente cancerígeno.

2.3. Açúcar orgânico

O açúcar orgânico ou de cana sócio-ambientalmente correta, com selos que garantam sua conformidade, é um mesmo produto obtido com processos de produção diferentes. Como todo produto orgânico, a cana orgânica é cultivada sem o uso de adubos químicos ou agrotóxicos, provém de um sistema de cultivo baseado no respeito ao meio ambiente e na preservação dos recursos naturais. Assim, a inovação ocorre no processo que incorpora mudanças no uso de adubos naturais, na preservação de mata natural no

entorno dos talhões de cana e da mata ciliar, e no processo industrial que deve evitar o uso de determinados materiais químicos, assim como de seu acondicionamento em sacos com materiais específicos e de procedimentos para exportação, também específicos (SEBRAE, 2005).

2.4. Açúcar mascavo

Até o final do século passado o açúcar mascavo se constituía no principal derivado da cana-de-açúcar e o Brasil era em seu principal produtor mundial. A partir do início do Século XX a produção do açúcar mascavo declinou e foi sendo substituída gradativamente pela produção de açúcares brancos, cristal ou refinado. Na década de 50 a fabricação de açúcar mascavo se tornou insignificante, passando a ser produzido em pequena escala, sem importância comercial. Atualmente o consumo do açúcar mascavo tem crescido devido à valorização de produtos naturais, especialmente sem aditivos químicos e pela sua composição, que o torna um alimento nutritivo, podendo substituir com vantagens o açúcar cristal e o refinado na alimentação da família, como também ser usado na merenda escolar (SEBRAE, 2004). A Tabela 3 apresenta uma análise comparativa dos valores nutritivos dos minerais presentes na rapadura, açúcar refinado e mascavo.

Tabela 3. Valor nutritivo dos minerais na rapadura, açúcar refinado e açúcar mascavo para cada (mg/100g).

Minerais	Açúcar refinado	Açúcar mascavo	Rapadura
Potássio	0,5 a 1	1,7 a 4	10 a 13
Cálcio	0,5 a 5	70 a 90	40 a 100
Magnésio	-	3 a 6	70 a 90
Fósforo	-	3 a 5	20 a 90
Sódio	0,6 a 0,9	0,7 a 1	19 a 30
Ferro	0,5 a 1	1,9 a 4	10 a 13
Manganês	-	0,1 a 0,3	0,2 a 0,5
Zinco	-	0,04 a 0,2	0,2 a 0,4
Cobre	-	0,10 a 0,3	0,1 a 0,9

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2007).

2.5. Qualidade do açúcar mascavo

No Brasil (1978), a Resolução nº 12, de março de 1978 da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos define açúcar como a sacarose obtida de cana ou de beterraba, por processos industriais adequados. O produto é designado "açúcar", seguido da denominação correspondente ao tipo: "açúcar cristal", "açúcar refinado", "açúcar demerara", "açúcar mascavo", "açúcar mascavinho", "açúcar cande". O açúcar mascavo deverá conter um mínimo de 90% de sacarose. O produto é elaborado a partir de caldo de cana livre de fermentação e isento de matéria terrosa. Nas avaliações microscópicas deverá demonstrar ausência de sujidades, de parasitas e de larvas de insetos ou de seus fragmentos. Na resolução nº 12 não há especificações microbiológicas para o açúcar mascavo. Entretanto, ela chama a atenção para que sempre que se tornar necessária a obtenção de dados adicionais sobre o estado higiênico sanitário do produto há necessidade de serem efetuadas determinações de microrganismos ou de substâncias tóxicas de origem microbiana. Para o controle da qualidade microbiológica sugere-se observar e seguir as características da rapadura.

Os produtos orgânicos artesanais derivados da cana de açúcar no sistema orgânico são produzidos geralmente em pequenas indústrias rurais ou em empresas familiares, como é o caso da produção de aguardente, de melado ou rapadura e açúcar mascavo. Tornando-se uma alternativa para a agricultura familiar, para melhoria da renda do pequeno produtor, e proporcionando benefícios sociais, econômicos e ambientais. Viabilizando a sua permanência na propriedade rural, com melhor qualidade de vida para a sua família e para os consumidores (SMOLINSKI et al., 2011).

Segundo Mior (2008), a agroindústria familiar rural é uma forma de organização onde a família rural produz, processa e/ou transforma parte de sua produção agrícola e/ou pecuária, visando, sobretudo a produção de valor de troca que se realiza na comercialização. Enquanto isso, a atividade de processamento de alimentos e matérias primas visa prioritariamente à produção de valor de uso que se realiza no autoconsumo. Enquanto o processamento e a transformação de alimentos ocorrem geralmente na

cozinha das agricultoras, a agroindústria familiar rural se constitui num novo espaço e num novo empreendimento social e econômico.

2.6. Nutrientes minerais e metais pesados

Os metais pesados se encontram distribuídos por toda a natureza. Nos solos os metais são originários da rocha de origem e de outras fontes adicionadas ao solo, tais como: precipitação atmosférica, cinzas, calcário, fertilizantes químicos e adubos orgânicos (estercos de animais, lixo domiciliar e bio-sólidos). As principais fontes de contaminação em solos agrícolas têm sido os adubos minerais e os corretivos (calcários, gesso) que podem conter metais pesados, micronutrientes e outras substâncias. O uso desses produtos pode levar, portanto, a um aumento no teor desses elementos no solo, tanto na fase sólida como na solução do solo, de onde passariam à planta e desta, como forragem ou alimento, ao animal e ao homem (TSUTIYA, 1999).

O termo metal pesado foi substituído pelos termos elementos-traços ou metais traços que são bastante utilizados para definir esses metais catiônicos e aniônicos presentes em baixas concentrações e com alta densidade em solos e plantas. Estes são considerados essenciais do ponto de vista biológico, porém em condições específicas, podem causar impactos negativos, se tornando contaminantes em diversos compartimentos ambientais, principalmente por não serem degradáveis, permanecendo por longos períodos no ambiente, principalmente nos sedimentos e, portanto, representando ameaça potencial à biodiversidade, bem como aos ecossistemas. Seria adequado utilizar o termo substância traço quando se tratar de elementos ou compostos químicos, pois esses termos são abrangentes, enquanto os termos elementos traço ou metais traço seriam utilizados quando o metal apresentasse toxicidade ao homem (GUILHERME et al., 2005; GOMES; SATO, 2011; MARTINS et al., 2011; OLIVEIRA; MARTINS, 2011, CORCINO et al., 2012). Os metais tóxicos cádmio, mercúrio e chumbo são de grande preocupação devido às concentrações excessivas que ocorrem em cadeias alimentares em muitas partes do mundo.

Os minerais juntamente com as vitaminas são ativadores do funcionamento das enzimas, peças-chaves das reações bioquímicas, e possibilitam que o corpo realize suas atividades metabólicas de forma precisa. São elementos de vital importância para a vida. São encontrados naturalmente na terra e absorvidos pelos vegetais, que são consumidos pelos animais e humanos (ALVARENGA, 2007).

A *World Health Organization* (WHO, 2002) classifica os elementos traços em três grupos em função da sua significância nutricional em humanos: elementos essenciais (I, Zn, Se, Cu, Mo, Cr, Fe e Co), elementos provavelmente essenciais (Mn, Si, Ni, B e V) e elementos potencialmente tóxicos, sendo que alguns desses podem apresentar alguma função essencial em níveis baixos de concentração (F, Pb, Hg, As, Al, Li e Sn).

Do ponto de vista de saúde pública é importante assegurar à população que a ingestão de todos os nutrientes seja adequada numa dieta normal. Ao mesmo tempo a dieta não deve conter elementos tóxicos acima dos níveis permissíveis. Com exceção da exposição ambiental, a maior entrada desses elementos, essenciais e tóxicos, no organismo humano, ocorre via cadeia alimentar (FAVARO et al., 2000).

Assim, a presença destes nutrientes minerais e dos metais pesados em açúcar mascavo, especificamente, precisa ser regulamentada, a exemplo do que realiza a Organização Africana de Normalização (ARSO, 2012), uma organização intergovernamental composta pela Comissão Econômica das Nações Unidas para a África (UNECA) e da Organização de Unidade Africano (UA). Um dos compromissos fundamentais da ARSO é desenvolver e harmonizar as normas Africanas (ARS) com a finalidade de melhorar a capacidade de negociação interna da África, aumentar a competitividade dos produtos e serviços da África no mundo e elevar o bem-estar das comunidades africanas. O trabalho de preparação de Normas Africanas é normalmente realizado através de comitês técnicos ARSO. Cada estado-membro interessado em um assunto para o qual foi estabelecida uma comissão técnica tem o direito de ser representado nesse comitê. As organizações internacionais, as comunidades econômicas regionais (CER), organizações

governamentais e não-governamentais, em articulação com ARSO, também participam do trabalho. A Tabela 4 apresenta alguns parâmetros de contaminantes metálicos preconizados pela *African Organization for Standardization*, para o açúcar mascavo.

Tabela 4. Teores máximos de contaminantes metálicos em açúcar mascavo.

Parâmetro	Exigência Máximo (mg kg ⁻¹)	Método ICUMSA de teste
Cobre (Cu)	1,0	GS 2/3-29 (1994)
Chumbo (Pb)	0,5	ISO 11212-3
Cádmio (Cd)	0,05	ISO 11212-4
Zinco (Zn)	3,0	ISO 6636-2

Fonte: Adaptado de *The African Organization for Standardization; Brown Sugar Specification ARS 876* (2012).

Um fator que afeta significativamente a toxicidade de um metal é sua espécie, que consiste na forma química na qual esse elemento se encontra. Em um estudo sobre os efeitos de um metal ao ambiente ou à saúde humana, a determinação de sua concentração total é um parâmetro importante, porém limitado, pois suas propriedades irão variar em função da forma química em que o elemento está presente, porque sua biodisponibilidade é um parâmetro diretamente associado com a espécie do elemento químico. A acumulação de metais nos organismos vivos depende diretamente da fração de metais biodisponíveis no meio em que se encontram. Pode-se encontrar um metal em diferentes compartimentos de um ecossistema, mas em função da forma química como ele está presente, tem-se maior ou menor absorção por parte da biota presente nesses compartimentos (LIMA; MERÇON, 2011). A Tabela 5 apresenta a classificação dos metais de acordo com a sua função biológica e toxicidade.

Tabela 5. Classificação dos metais de acordo com a função biológica e toxicidade.

Metal	Função biológica	Toxicidade
Cd	Nenhuma conhecida em humanos	Moderadamente tóxico para todos os organismos. No homem causa distúrbios renais e está possivelmente associado à hipertensão. Substitui o Zn em algumas enzimas, impedindo a sua atuação.
Cu	Essencial para o metabolismo celular, transporte de ferro e é constituinte de diversas enzimas tais como: ceruloplasmina (atua na carreaia do Fe ²⁺ armazenado para o local de síntese da hemoglobina) e superóxido dismutase (protege a célula da lesão oxidativa produzida por superóxidos).	Muito tóxico para as plantas; altamente tóxico para invertebrados, moderadamente para mamíferos. A toxicidade crônica ocorre principalmente em portadores de insuficiência renal sob hemodiálise. Manifesta-se por disfunção e lesão hepatocelular.
Fe	Exerce a função como elemento estrutural do grupo heme na hemoglobina, proteína responsável pelo transporte do O ₂ e do CO ₂ no sangue.	O excesso de Fe no organismo ocasiona a hemocromatos que se caracteriza por pigmentação amarelada na pele, lesão pancreática com diabetes, cirrose hepática, incidência elevada de carcinoma hepático.
Mn	É um componente de várias enzimas inclusive da superóxido dismutase mitocondrial. Ativa muitas enzimas que também podem ser ativadas pelo Mg. Ao Mn está associada a formação do tecido conjuntivo e ósseo, crescimento e reprodução e metabolismo de carboidratos e lipídeos.	Moderadamente tóxico. O excesso de Mn que se acumula no fígado e no sistema nervoso central produz os sintomas característicos do Mal de Parkinson.
Pb	Nenhuma conhecida em humanos.	Muito tóxico para a maioria das plantas, é um veneno cumulativo em mamíferos. Um dos sintomas do envenenamento por Pb é a anemia. Afeta praticamente todos os órgãos (principalmente o fígado e os rins) e sistemas (nervoso central, cardiovascular, reprodutor masculino e feminino) do corpo humano.
Zn	Essencial para todos os organismos. Participa de reações que envolvem ou a síntese ou a degradação de metabólitos tais como: carboidratos, lipídeos, proteínas e ácidos nucléicos.	Moderada a ligeiramente tóxico. Sintomas de toxicidade incluem: náusea, vômito, dor epigástrica, diarreia, tontura, anemia, febre e distúrbios do sistema nervoso central.

Fonte: Adaptado de Santana (2008).

2.7. Segurança alimentar e nutricional

O conhecimento da composição dos alimentos consumidos é fundamental para se alcançar a segurança alimentar e nutricional. As

informações de uma tabela de composição de alimentos são pilares básicos para a educação nutricional, o controle da qualidade dos alimentos e a avaliação da ingestão de nutrientes de indivíduos ou populações. Por meio delas, autoridades de saúde pública podem estabelecer metas nutricionais e guias alimentares que levem a uma dieta mais saudável. Ao mesmo tempo em que fornecem subsídios aos epidemiologistas que estudam a relação entre a dieta e os riscos de doenças ou a profissionais para a prática clínica, estes dados podem orientar a produção agrícola e as indústrias de alimentos no desenvolvimento de novos produtos e apoiar políticas de proteção ao meio ambiente e de biodiversidade (TACO, 2011).

2.8. Elementos traços na nutrição e saúde

Desde a criação da Nutrição Científica no século XIX, a qualidade dos alimentos esteve fortemente relacionada ao enfoque analítico de valor nutricional, com base nos macronutrientes e calorias. Os nutrientes que não produziam calorias, as vitaminas e os minerais, bem como o modo de produção dos alimentos, não eram considerados relevantes dentro dos estudos de qualidade nutricional sob o enfoque analítico calórico-quantitativo. A presença de micronutrientes e contaminantes químicos alimentares não interferia no valor nutricional dos alimentos (AZEVEDO, 2008).

Na atualidade, o campo da Alimentação e Nutrição ocupa lugar de destaque tanto na agenda das organizações internacionais, voltadas ao desenvolvimento humano e à sustentabilidade ecológica do planeta, como na agenda pública do governo brasileiro. No contexto mundial, por exemplo, a erradicação da pobreza e da fome corresponde à meta número um da Declaração do Milênio das Nações Unidas, estabelecida em 2009 por 191 países (KAC et al., 2011).

Nos últimos tempos, deu-se uma maior intensificação nos estudos de micronutrientes, tanto em nações desenvolvidas quanto naquelas em desenvolvimento, por acreditar-se que muitos problemas de saúde estão relacionados, pelo menos em parte, à insuficiência de determinados micronutrientes (ALMEIDA et al., 2009).

Do ponto de vista nutricional, comparativamente, o açúcar mascavo difere do açúcar branco, principalmente, pela coloração escura e pelo menor percentual de sacarose. O açúcar mascavo é rico em cálcio, ferro, potássio e diversas vitaminas que não são normalmente encontradas no açúcar refinado (GENEROSO et al., 2009).

No Brasil (2006), a Lei nº 11.346 de Segurança Alimentar e Nutricional estabelece o “direito de todos ao acesso regular e permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente, sem comprometer o acesso a outras necessidades essenciais, tendo como base práticas alimentares promotoras da saúde que respeitem a diversidade cultural e que seja ambiental, cultural, econômica e socialmente sustentável”.

No entanto, a definição de qualidade dos alimentos não é tão simples e nem há tampouco consenso entre aqueles que discutem o tema. A qualidade dos alimentos apresenta significados complexos, como é o caso da conotação da própria palavra qualidade. Todavia, se por um lado, é crescente a valorização de alimentos tradicionais em detrimento aos industriais globais, por outro, há fortes pressões de órgãos fiscalizadores sobre a produção artesanal tradicional no sentido da legalização e atendimento às normas e regras sanitárias, o que representa custos restritivos para a maioria dos produtores desse tipo de alimento. Daí emerge a discussão em torno de critérios de qualidade, os quais levam à reflexão sobre a relação entre modos e escalas de produção, qualidade e o limite entre modelos de produção e abastecimento de alimentos (ESTEVAM; RONÇANI, 2012).

2.9. Métodos instrumentais utilizados na determinação dos elementos traços inorgânicos

2.9.1. Espectrometria de absorção atômica

A espectrometria de absorção atômica (AAS - *Atomic Absorption Spectrometry*) é hoje uma técnica largamente difundida e empregada para a determinação de elementos traço nas mais diversas amostras, tais como material biológico (tecidos e fluídos), ambientais (água, solo, sedimentos e

plantas), alimentos, geológicos, tecnológicos, etc. A técnica utiliza basicamente o princípio de que átomos livres (no estado gasoso) gerados em um atomizador são capazes de absorver radiação de frequência específica que é emitida por uma fonte espectral; a quantificação obedece desta forma, os princípios da lei de Beer. Todas as aplicações analíticas de espectrometria de absorção atômica tiveram origem a partir de trabalhos publicados no final da década de 50, que propuseram pela primeira vez seu uso para análises químicas, principalmente devido à sua simplicidade e baixo custo de operação.

A espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS – *Flame Atomic Absorption Spectrometry*) é a técnica utilizada também para análises elementares, mas em níveis de mg L^{-1} , enquanto que a espectrometria de absorção atômica com forno de grafite (GF AAS – *Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry*) é utilizada para determinação de pequenas concentrações de elementos traço (na ordem de $\mu\text{g L}^{-1}$) (KRUG et al., 2004; BORGES et al., 2005; AMORIM et al., 2008).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Produção da cana de açúcar: caracterização da área, plantio, adubação e colheita.

O estudo foi realizado pelo Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Araras-SP. O plantio da cana de açúcar foi feito em abril de 2009 em uma área que estava em pousio por 10 anos. A variedade de cana utilizada para a produção do açúcar mascavo foi a RB 867515. Esta variedade foi escolhida por ser uma das mais cultivadas no Brasil, apresentando bom rendimento agrícola sob manejo orgânico, possuir alta produtividade, ter ótima qualidade e por atingir tempo de maturação no meio da safra (mediana), ou seja, de outubro a novembro. A cana de açúcar foi cultivada em diferentes tratamentos (Tabela 6).

Tabela 6. Tratamentos da cana-de-açúcar utilizados para fabricação de açúcar mascavo.

TEST	Testemunha - sistema sem nenhum tratamento
SCVQ	Sistema convencional com corretivo orgânico e com adubo químico
SCAQ	Sistema convencional sem calcário e com adubo químico
SCCQ	Sistema convencional com calcário e adubo químico
SOCV	Sistema orgânico com calcário e composto orgânico
SOVV	Sistema orgânico com corretivo orgânico e composto orgânico

3.2. Produção do açúcar mascavo

Na produção do açúcar mascavo, os caldos, após descongelamento, tiveram sua acidez corrigida com leite de cal até pH 6,5. Em seguida, foram colocados em tachos de 10L para evaporação até a temperatura de 119°C, controlada com termômetro digital com 0,1°C. Assim que a cristalização iniciava o açúcar era, imediatamente retirado do fogo e iniciado o processo de cristalização por choque mecânico, até o resfriamento da amostra, de acordo com Minguetti (2012). Os açúcares produzidos foram peneirados e embalados em sacos plásticos de polietileno, e colocados dentro de frascos de

polipropileno e armazenados. Os teores de nutrientes minerais e metais pesados foram analisados e determinados no Laboratório de Ecologia e Agroquímicos do Instituto Biológico (São Paulo, SP).

3.3. Análise de minerais e metais pesados

As determinações de cádmio e chumbo foram feitas em um espectrômetro de absorção atômica com atomização eletrotérmica em forno de grafite (Perkin-Elmer, modelo 5110 PC), equipado com corretor Zeeman.

As determinações de cobre zinco, manganês e ferro foram feitas em espectrômetro de absorção atômica com chama - FAAS (Perkin-Elmer, modelo 5110 PC). Os parâmetros operacionais para cada elemento são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Parâmetros instrumentais para determinação por absorção atômica com chama e forno de grafite dos elementos estudados.

Parâmetro	Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Pb
Corrente da Lâmpada (mA)	15	25	25	15	5,0	6,0
Comprimento de onda (nm)	324,8	248,3	279,8	213,9	228,8	283,3
Fenda de entrada (nm)	0,7	0,2	0,2	0,7	0,5	0,5
Técnica Analítica	FAAS	FAAS	FAAS	FAAS	GFAAS	GFAAS

A Figura 1 apresenta os instrumentos utilizados na preparação e na determinação dos teores minerais e metais pesados.

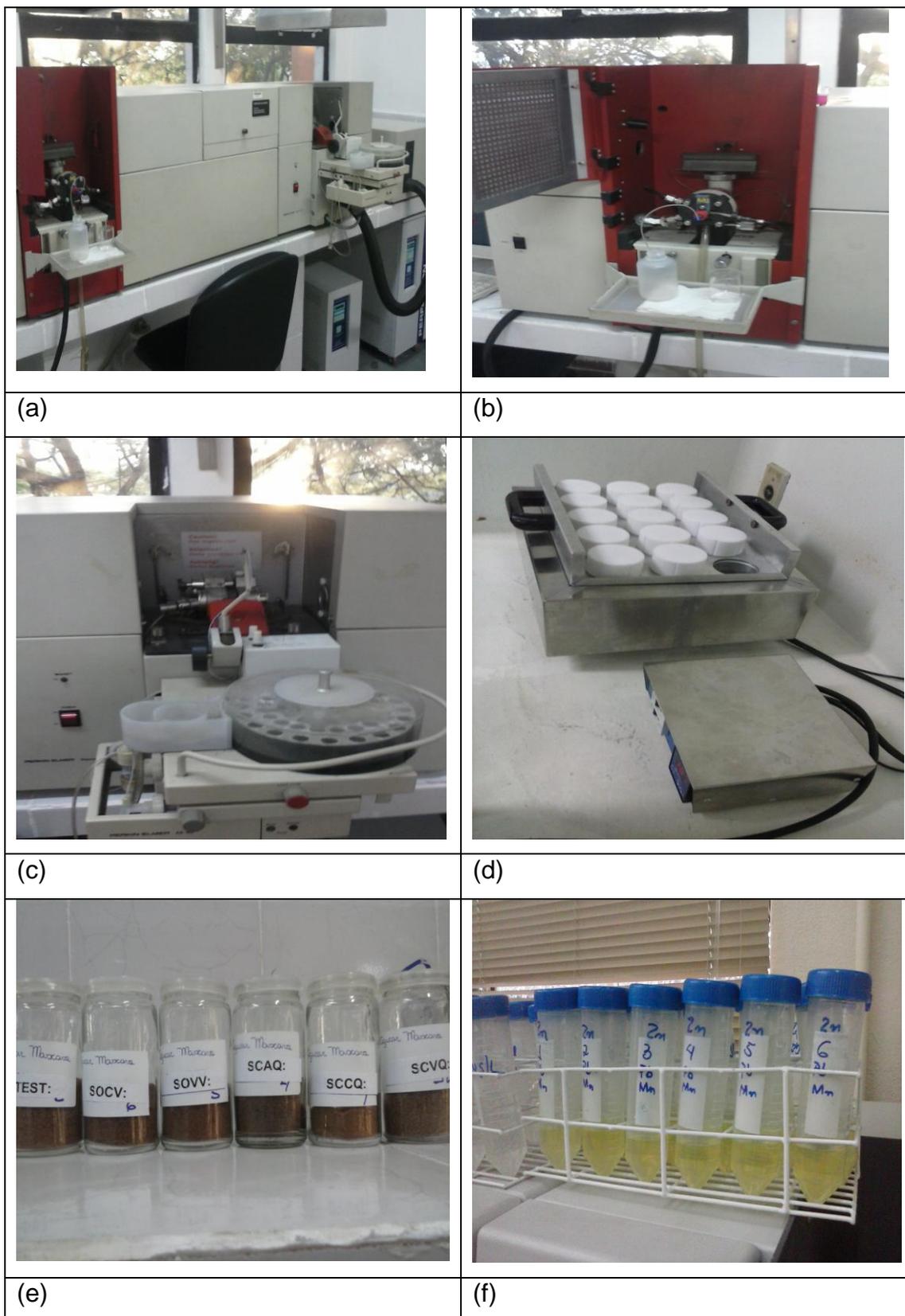


Figura 1. (a) espectrômetro Perkin-Elmer, modelo 5110- Zeeman, (b) sistema de atomização em chama, (c) sistema de atomização em forno de grafite, (d) bloco digestor Tecal modelo TE 007, (e) amostras de açúcar mascavo, (f) amostras de açúcar mascavo após digestão ácida,

3.4. Limpeza de vidrarias

Os materiais de vidro e polipropileno foram previamente lavados e mantidos em banho de ácido nítrico 10% v/v por 24 h e lavados posteriormente com água ultrapura.

3.5. Reagentes e soluções

Todos os reagentes utilizados foram de grau analítico. Todas as soluções foram preparadas com água deionizada de alta pureza (resistividade 18,2 M Ω cm) obtida em sistema Milli-Q (Millipore). Para se determinar a faixa linear de análise foram construídas curvas de calibração dos elementos em solução aquosa com concentrações crescentes das soluções de referência. Para o elemento Fe as concentrações variaram entre 0,1 e 1,0 mg L⁻¹, para o Mn entre 0,1 e 1,0 mg L⁻¹, para Cu entre 5,0 e 100,0 μ g L⁻¹, para o Zn entre 10,0 e 300 μ g L⁻¹, para Cd entre 0,5 e 10,0 μ g L⁻¹ e para Pb entre 5,0 e 100,0 μ g L⁻¹, obtidas através da diluição sucessiva de soluções estoque 1000 mg L⁻¹ (HNO₃ 2% v/v - Merck®).

3.6 Performance dos métodos analíticos utilizados na quantificação dos elementos estudados

Os parâmetros e critérios utilizados na avaliação da performance dos métodos analíticos para quantificação dos elementos monitorados foram: Linearidade da curva analítica ($R^2 \geq 0,99$); Limite de Detecção (LOD), Limite de Quantificação do método (LOQ) e Porcentagem de recuperação (80% a 110%).

Os teores dos nutrientes minerais e metais pesados encontrados nas amostras foram calculados a partir da construção de curvas de calibração analítica específicas para cada elemento com um total de, no mínimo, 6 pontos em triplicatas e apresentando um coeficiente de regressão linear R^2 superior a 0,9998.

O limite de detecção (LOD) foi determinado como a menor quantidade que gerasse um sinal correspondente a cinco vezes ao ruído e o limite de quantificação (LOQ) como a menor concentração que produzisse um sinal dez vezes maior que o limite de detecção, de acordo com INMETRO (2010) de

modo atender os limites máximos permitidos desses nutrientes minerais e metais pesados em alimentos, conforme recomendado pelas legislações, e expressos em mg kg^{-1} . Para as análises, foram utilizados, com o limite de quantificação real, os primeiros pontos das curvas de calibração analítica de cada elemento, transformadas em mg kg^{-1} (Tabela 8).

Tabela 8. Limites de Detecção (LOD) e Limites Quantificação (LOQ) em mg kg^{-1}

Parâmetro	Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Pb
Limite de detecção	0,012	0,25	0,25	0,025	0,001	0,010
Limite de quantificação	0,12	2,5	2,5	0,25	0,01	0,10

Para o estudo da recuperação média utilizou-se uma amostra de açúcar mascavo fortificada com padrão (Multi-Element Standard, Perkin Elmer) de Cu, Mn, Zn, Fe, Cd e Pb, para dois níveis de concentrações que contemplassem o intervalo da curva de calibração de cada elemento analisado.

A porcentagem de recuperação desses ativos foi calculada individualmente, em dois níveis de fortificação e quatro repetições para cada nível, por meio da expressão:

$$\% \text{ Rec} = \frac{R}{C} \times 100$$

onde:

% Rec = porcentagem de recuperação,

R = concentração de cada elemento encontrado na amostra de açúcar mascavo fortificada,

C = concentração esperada de cada elemento na amostra fortificada.

Calculou-se a recuperação média para dois níveis fortificação e as quatro repetições obtendo-se valores de recuperação entre 93 a 110% para todos os elementos.

3.7. Digestão das amostras

O processo de digestão por via úmida em sistema fechado consiste em decompor a matéria orgânica aplicando ácidos concentrados com efeito oxidante. Os ácidos nítricos, sulfúricos e perclóricos são os mais comuns. Nesse sistema é possível diminuir os riscos de contaminação e perdas de analitos causados pela volatilidade dos elementos (NOGUEIRA, 2003).

Em balança analítica de 0,01mg de precisão (Mettler, modelo AE 240) foram pesados 1,00g de açúcar mascavo dos diferentes tratamentos. As amostras foram transferidas para um tubo digestor em sistema fechado e posteriormente, foram adicionados 2 mL água ultrapura (Milli-Q) e 2 mL de HNO₃ concentrado e aquecido sob temperatura 120°C por 2 h. Após a digestão os tubos digestores foram resfriados em um sistema de fluxo de água contínuo.

As amostras digeridas foram transferidas para um balão volumétrico, e o volume foi ajustado para 25 mL com água ultrapura. As amostras de açúcar mascavo dos diferentes tratamentos, do branco de preparação e de amostra de açúcar mascavo fortificada foram igualmente submetidas à digestão orgânica por via úmida em sistema fechado e analisadas de acordo com a *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 1995).

3.8. Análise estatística

Os resultados das concentrações de cobre, zinco, manganês, ferro, chumbo e cádmio nas amostras dos diferentes açúcares mascavos foram analisados quanto às diferenças estatisticamente significantes por meio de cálculos dos resultados expressos em média e desvio padrão (SD \pm) e, submetidos à análise de variância e comparação das médias por meio do teste de Tukey, utilizando-se o *software SAS* (SAS, 1989).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Metais pesados

De acordo com os resultados obtidos na detecção de chumbo e cádmio no açúcar mascavo dos diferentes sistemas de produção (Tabela 9) não se detectou contaminação por Pb nas amostras de açúcar produzidas nos tratamentos TEST, SCAQ e SOVV. Entretanto, nas amostras SCVQ, SCCQ e SOCV, o Pb foi detectado, e as concentrações encontradas estão acima do limite máximo estabelecido na Resolução - RDC N^o- 42, de 29 de agosto de 2013 (BRASIL, 2013) que tolera limite máximo de 0,1 mg kg⁻¹ em açúcares. Quando comparadas as concentrações de Pb encontradas neste estudo, que variaram de 0,16 a 0,30 mg kg⁻¹, com o valor estabelecido pela *African Organisation for Standardisation* (ARSO, 2012), conforme apresentado na Tabela 4, que estabelece o limite máximo de tolerância de 0,5 mg kg⁻¹ de Pb para o açúcar mascavo destinado à alimentação humana, verifica-se que as concentrações estão abaixo daquele limite de tolerância. Portanto, do ponto de vista de segurança alimentar a atual legislação brasileira (BRASIL, 2013) é mais rigorosa, com o limite máximo de tolerância para Pb em açúcar em comparação com a ARSO (2012).

Tabela 9. Valores médios (mg kg⁻¹) dos teores metais pesados encontrados nas amostras de açúcar mascavo proveniente de cana de açúcar de diferentes tratamentos (n=6).

Tratamento	Pb (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)
TEST	< LOQ	< LOQ
SCVQ	0,30a	< LOQ
SCAQ	< LOQ	< LOQ
SCCQ	0,16ab	< LOQ
SOCV	0,20a	< LOQ
SOVV	< LOQ	< LOQ

- Médias com letras iguais, na coluna, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pela análise de variância ANOVA - teste de Tukey.

- (< LOQ) abaixo do limite de quantificação.

- TEST: testemunha absoluta; SCVQ: sistema convencional com corretivo orgânico e adubo químico; SCAQ: sistema convencional sem calcário e com adubo químico; SCCQ: sistema convencional com calcário e adubo químico; SOCV: sistema orgânico com calcário e composto orgânico; SOVV: sistema orgânico com corretivo e composto orgânico.

Estudo recente realizado por Wilwerth et al. (2009) com diversas marcas de açúcar mascavo encontrou concentrações de Pb na ordem de 6,3 a 16,2 mg kg⁻¹. Os teores de Pb aqui encontrados nas amostras de açúcar mascavo provenientes dos tratamentos: SCVQ, 0,30 mg kg⁻¹; SOCV, 0,20 mg kg⁻¹ e SCCQ, 0,16 mg kg⁻¹, foram menores do que os encontrados por Faria (2012) em açúcar mascavo orgânico a concentração de Pb estava na ordem de 0,69 mg kg⁻¹.

A contaminação das amostras de açúcar por chumbo pode ser advinda de várias fontes, dentre elas: deposição atmosférica; aplicação de corretivos, fertilizantes e agroquímicos; água de irrigação e por adição de resíduos orgânicos e inorgânicos (TAVARES, 2010). Assim, esses fatores podem ter contribuído para a contaminação das amostras de açúcar mascavo, produzidos nos tratamentos SCVQ, SCCQ e SOCV, analisadas neste trabalho.

De acordo com Moreira; Moreira (2004), o chumbo é um dos contaminantes mais comuns do ambiente, sendo considerado como um elemento que possui efeitos tóxicos sobre os homens e animais, e sem nenhuma função fisiológica no organismo. A dose de ingestão aceitável provisória (PTWE) para chumbo atualmente é de 25 µg kg⁻¹ de peso corpóreo por semana (CAPITANI, 2009). Para um adulto de 70 kg a dose aceitável de ingestão deve ser de 250 µg dia⁻¹. Contrastando com os adultos, as crianças entre 2 meses e 6 anos de idade podem absorver até 50% da quantidade ingerida. Baseado no nível de ação ainda em vigor proposto pelo *Centers for Disease Control and Prevention* - CDC em 1991, que é de 10 µg dL⁻¹ de Pb no sangue em crianças, calcula-se então que uma criança de 10 kg não pode ter ingestão de Pb maior de 60 µg dia⁻¹ em sua dieta, sob risco de desenvolver efeitos a longo prazo (CAPITANI, 2009).

Paralelamente, verificou-se que as amostras de açúcar mascavo dos diferentes tratamentos e analisadas neste trabalho, também não apresentaram contaminação pelo Cd. A legislação brasileira estabelece como limites máximos de tolerâncias entre 0,01 e 2,00 mg kg⁻¹ de Cd em alimentos (BRASIL, 2013), porém não há referências diretas aos açúcares. Mas, a ARSO

(2012) estabelece o limite máximo de tolerância de $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd para o açúcar mascavo destinado à alimentação humana.

Martins et al. (2009), que analisaram o teor de cádmio em produtos à base de cereais em diferentes estabelecimentos comerciais (supermercado, farmácia, cooperativa de produtos biológicos) na área de Lisboa, de origem convencional e biológica, destinada à alimentação infantil, obtiveram teores de cádmio situados entre $1,2$ e $9,0 \mu\text{g kg}^{-1}$ e entre $9,0$ e $69,0 \mu\text{g kg}^{-1}$ de peso fresco, respectivamente. Segundo os autores, os teores de cádmio encontrados são superiores nas amostras biológicas quando comparados com as de origem convencional.

Skrbic et al. (2003) analisaram amostras de açúcar de beterraba produzidas por algumas fábricas de açúcar de beterraba na Jugoslavia, e o teor de cádmio nas amostras variou de $0,04$ a $0,16 \text{ mg kg}^{-1}$. As concentrações de Cd foram inferiores à concentração máxima permitida determinada pela legislação local. Em outro estudo, Waheed et al. (2009) utilizaram análise instrumental por ativação com nêutrons (INAA) para determinação de Cd nas amostras de açúcar mascavo, açúcar branco e rapadura coletadas na indústria de cana de açúcar do Paquistão e não detectaram Cd em nenhuma das amostras de açúcar analisadas.

Verifica-se, portanto, que os resultados de Cd encontrados por nós no açúcar mascavo proveniente de vários tratamentos são semelhantes aos encontrados por vários autores nos diferentes tipos de açúcares.

O cádmio é um metal tóxico que ocorre naturalmente no solo, mas também pode surgir devido à ação antrópica. O cádmio é facilmente absorvido por culturas agrícolas e, por conseguinte, entra facilmente nas diferentes cadeias alimentares da população humana e de animais. A exposição prolongada a este metal apresenta como consequência lesões em diferentes órgãos e tecidos (rins, fígado, ossos e pulmões), além de ter efeitos cancerígenos (MARTINS et al., 2009). Segundo Azevedo; Chasin (2003), as concentrações de cádmio em condições de ser incorporado pela planta em diferentes alimentos variam muito de acordo com sua origem, com a concentração do metal no solo e sua disponibilidade no meio. Grãos e cereais

constituem as culturas de maior porcentagem da absorção de cádmio, dado que o concentram. A concentração de cádmio em açúcar e conservantes em países como Reino Unido, Finlândia, Suécia, Dinamarca e Holanda variam de 3 e 30 $\mu\text{g kg}^{-1}$ em peso úmido.

4.2 Nutrientes minerais

Os resultados dos teores dos nutrientes minerais Cu, Zn, Mn e Fe determinados nas amostras de açúcar mascavo provenientes de diferentes tratamentos da cana de açúcar estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Teores de nutrientes encontrados nas amostras de açúcar mascavo dos diferentes tratamentos (mg kg^{-1} ; n=6) e limites de diferentes organizações (em cinza)

Elemento	TEST	SCVQ	SCAQ	SCCQ	SOCV	SOVV	TACO*	WHO**	UL-WHO***
	mg kg^{-1}						2011	1996	2006
							$\text{mg } 100\text{g}^{-1}$	mg dia^{-1}	mg dia^{-1}
Cu	1,58 c	1,95 b	2,13 a	2,13 a	1,97 b	1,38 d	0,17	2	10
Zn	5,72c	5,76 bc	5,89 ab	5,99 a	5,71 c	4,90 d	0,5	15	45
Mn	18,43 b	15,41 d	20,46 a	15,69 d	15,85 cd	15,33 d	2,03	3	11
Fe	14,28 c	16,95 b	19,01a	14,31 c	15,20 c	12,35 d	8,3	20	45

- Médias com letras iguais, em linha, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pela análise de variância ANOVA - teste de Tukey.

-TEST: testemunha absoluta; SCVQ: sistema convencional com corretivo orgânico e adubo químico; SCAQ: sistema convencional sem calcário e com adubo químico; SCCQ: sistema convencional com calcário e adubo químico; SOCV: sistema orgânico com calcário e composto orgânico; SOVV: sistema orgânico com corretivo e composto orgânico.

* Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011)

** World Health Organization (WHO, 1996)

*** UL – Tolerable Upper Intake Level (WHO, 2006)

Para comparação dos resultados (Tabela 10) utilizou-se os valores de Cu, Zn, Mn e Fe detectados no açúcar mascavo com os que estão reportados na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011), em relação

aos valores das necessidades diárias recomendado pela *World Health Organization* (WHO, 1996) e ao limite máximo tolerável de ingestão - *UL – Tolerable Upper Intake Level* (WHO, 2006), que representam os valores máximos de um nutriente que pode ser ingerido diária e cronicamente, sem causar riscos adversos à saúde de quase todos os indivíduos de um determinado grupo, em um determinado estágio de vida e sexo.

Os teores de Cu encontrados nas amostras de SCVQ, SOCV, SCAQ e SCCQ, apesar de apresentarem diferenças estatísticas nas amostras (Tabela 10), são muito próximos e irrelevantes do ponto de vista nutricional. As amostras de açúcar mascavo provenientes dos tratamentos de produção por manejo orgânico TEST e SOVV apresentaram teores de Cu estatisticamente menores quando comparados aos demais tratamentos. Considerando-se uma ingestão diária de 100 g de açúcar mascavo oriundo de cada um dos sistemas de tratamento e analisados neste trabalho (Tabela 10), o teor de Cu ingerido estaria na faixa de 0,14 a 0,20 mg 100g⁻¹. Verificou-se, portanto, que as amostras de açúcar mascavo proveniente de todos os sistemas de produção estão em níveis nutricionais abaixo da necessidade diária recomendada para o Cu na alimentação humana que, segundo a WHO (1996), é de 2,0 mg dia⁻¹. Os teores de Cu encontrado nas amostras de açúcar mascavo de diferentes tratamentos da cana (SCVQ, SOCV, SCAQ e SCCQ) foram mais altos do que os encontrados na tabela TACO (2011); por outro lado, nas amostras TEST e SOVV os teores de Cu foram menores.

Os valores da TACO (2011) referem-se a valores de médias dos resultados analíticos de, no mínimo, três e no máximo, cinco amostras, das principais marcas comerciais de açúcar mascavo, coletadas em super/hipermercados de diferentes regiões do Brasil. Assim, não é possível afirmar que o tipo de manejo, seja ele orgânico ou convencional, tenha sido fator determinante para o aumento ou a diminuição do teor de Cu nas amostras de açúcar analisadas.

Verificou-se que em todas as amostras de açúcar mascavo oriundas dos diferentes sistemas de produção analisadas apresentaram teores de Cu dentro dos níveis toleráveis estabelecidos por BRASIL (1998), isto é, estiveram

sempre entre 0,1 e 10 mg kg⁻¹, que são os limites estabelecidos para Cu em alimentos. Entretanto, se compararmos os resultados de Cu aqui detectados nas amostras de açúcar mascavo com os valores da ARSO (2012), que estabelece como o limite máximo de tolerância de 1,0 mg kg⁻¹, nota-se que todas as amostras, tanto do manejo orgânico como do convencional apresentaram teores de Cu estão acima do estabelecido por esta organização internacional. Ressalta-se que o limite de tolerância de Cu utilizado na análise comparativa para este estudo e estabelecido pela legislação brasileira (BRASIL, 1998), refere-se ao teor de Cu em alimentos em geral. Sendo que, os limites de tolerância de Cu estabelecido pela ARSO (2012) é para açúcar mascavo propriamente dito.

Desta forma, as pequenas diferenças nos resultados de teores de Cu aqui obtidos para os sistemas de produção orgânica e convencional não chegam a ser relevantes do ponto de vista do aspecto nutricional, quando se leva em consideração uma ingestão diária de 100g de açúcar mascavo orgânico e convencional. Porém, quando comparados com os limites estabelecidos pela ARSO (2012) os teores detectados de Cu são inseguros do ponto de vista de segurança alimentar.

Em estudo realizado por Faria (2012) com diversos tipos de açúcar, o teor de Cu encontrado nas amostras de açúcar mascavo foi da ordem 1,6 mg kg⁻¹. Em outro estudo, de Wilwerth et al. (2009), foram analisadas 31 marcas de açúcar mascavo comercial e os teores de Cu variaram entre 0,2 e 13,3 mg kg⁻¹, intervalo ao qual nossos resultados se encontram (Tabela 10).

Considerando os diversos resultados citados na literatura e apresentados nas Tabelas 1 e 2 para os teores de Cu em produtos agrícolas produzidos no sistema de manejo orgânico e convencional, observa-se que foram realizadas 11 pesquisas e 30 comparações, não havendo diferença em relação ao teor de Cu entre os dois sistemas (Tabela 1). Já na Tabela 2, das 23 comparações, em 16 estudos o teor de Cu foi igual para ambos os sistemas, e em 5 estudos foram relatados que houve aumento do teor de cobre para os produtos orgânicos e somente em dois estudos foram observados decréscimos

do teor de Cu nas amostras produzidas em sistema orgânico em comparação ao sistema convencional.

Quando se compara os resultados de Cu em alimentos reportados nas Tabelas 1 e 2, com os resultados de teores de Cu em açúcar mascavo obtidos neste trabalho para os diferentes sistemas de tratamentos orgânico e convencional, verifica-se que nossos resultados se encontram de acordo com os dados da literatura. Ainda, de acordo com Oliveira et al. (2007), o teor nutritivo do Cu em açúcar mascavo pode variar de 0,1 a 0,3 mg 100g⁻¹. Desta forma, os resultados de Cu obtidos neste estudo nas amostras de açúcar mascavo dos diferentes sistemas de tratamentos variaram de 0,14 a 0,20 mg 100g⁻¹ e são, portanto, semelhantes aos dados apresentados na Tabela 3.

O Cu é um elemento traço essencial para todos os organismos, incluindo seres humanos, e está relacionado com as funções metabólicas de enzimas cobre-dependentes – cuproenzimas - como por exemplo: citocromo c oxidase, superóxido dismutase citosólica, lisil oxidase, tirosinase, ceruloplasmina e dopamina b-hidroxilase (MACEDO et al., 2010). A essencialidade desse metal deve-se a sua incorporação a grande número de enzima e proteínas estruturais. O papel do cobre nas atividades enzimáticas de óxido/redução se deve à sua habilidade em funcionar como um elétron intermediário de transferência. É o principal componente do centro catalítico de diversas enzimas redox e sua presença é essencial para processos fisiológicos normais, como respiração celular, síntese de melanina, biossíntese de tecido conectivo, defesa contra radicais livres e metabolismo de ferro intracelular. A ingestão de níveis elevados de cobre pode provocar náuseas, vômitos, dores de estômago ou diarreia (AZEVEDO; CHASIN, 2003).

Em relação aos teores de Zn encontrados nas amostras de açúcar analisadas, observa-se que as amostras TEST, SCVQ, SOCV, SCAQ, SCCQ e SOVV (Tabela 10) apresentaram diferença estatística entre os sistemas de produção de manejo orgânico e convencional. Estas diferenças podem ser consideradas irrelevantes do ponto de vista nutricional porque se levarmos em consideração uma ingestão diária de 100 g de açúcar mascavo orgânico e convencional das amostras analisadas neste trabalho, o teor de Zn ingerido

seria de aproximadamente de 0,49 a 0,60 mg 100 g⁻¹, que estão em nível nutricional abaixo do recomendado como necessidade diária para o Zn na alimentação humana, que é 15mg dia⁻¹ (WHO, 1996). Porém, pode-se observar que os teores de Zn foram similares aos publicados na TACO (2011) para o açúcar mascavo, que é de 0,5 mg em 100g⁻¹, e muito abaixo do limite máximo tolerável de ingestão - *UL – Tolerable Upper Intake Level* (WHO, 2006), que é de 45 mg dia⁻¹.

Em comparação com os limites de Zn estabelecidos pela ARSO (2012), isto é, 3,0 mg de Zn kg⁻¹, todas as amostras, tanto do sistema orgânico como do convencional, apresentaram teores de Zn acima dos limites tolerados. Podendo-se dizer que estão acima do limite da segurança alimentar.

Waheed e Ahmad (2008) analisaram teores de Zn em amostras de açúcar mascavo coletadas na indústria de cana de açúcar do Paquistão e detectaram teores de Zn de 3,4 µg g⁻¹. Verifica-se, portanto, que os resultados encontrados por nós no açúcar mascavo proveniente de vários tratamentos do plantio da cana são maiores (entre 4,90 e 5,99 mg kg⁻¹) do que os encontrados por esses autores. Entretanto, um estudo descrito por Dragunski et al. (2009) avaliou o teor de Zn, durante o processamento, desde a coleta da cana de açúcar até a obtenção do açúcar como produto final e o teor de zinco no açúcar foi de 7,38 mg kg⁻¹. Segundo Dragunski et al. (2009), no processo de fabricação do açúcar pode ocorrer perda ou ganho de minerais, devido à incorporação ou precipitação de algumas substâncias.

Observando-se as Tabelas 1 e 2, verifica-se que não houve diferença do teor de Zn entre os dois sistemas de produção nas diversas pesquisas e comparações realizadas. O que corrobora os dados obtidos neste trabalho. Entretanto, na comparação com o valor nutritivo do Zn em açúcar mascavo descrito na Tabela 3 que é de 0,04 a 0,2 mg 100 g⁻¹, os valores encontrados neste trabalhos foram maiores (entre 0,49 a 0,60 mg 100 g⁻¹).

O zinco é essencial para o crescimento, desenvolvimento e função imunológica. Suas funções biológicas podem ser divididas em catalíticas, estruturais e regulatórias. Mais de 100 enzimas são dependentes do zinco como catalisador, entre elas, desidrogenase alcoólica, fosfatase alcalina e RNA

polimerases. É essencial também para a estrutura de certas proteínas envolvidas na expressão gênica influenciando a apoptose e a atividade da proteína C quinase. Na função estrutural ele participa como parte integrante de enzimas antioxidantes como a cobre-zinco-superóxido dismutase (SARNI et al., 2010).

O zinco é ainda um elemento estrutural e funcional de grande importância para o cérebro. No sistema nervoso central atua na síntese de proteínas importantes para a produção de neurotransmissores e favorece a afinidade para os seus receptores. Pesquisas com animais de experimentação têm mostrado as consequências da deficiência de zinco no desenvolvimento do cérebro, nos níveis de atividade e atenção, na memória e no desenvolvimento cognitivo (PEDRAZA; QUEIROZ, 2011).

Segundo Silva et al. (2010) quando um mineral é ingerido, sua biodisponibilidade é influenciada por propriedades específicas do mineral, como por exemplo, sua valência e forma molecular (orgânica versus inorgânica) são importantes e, por causa dessas propriedades específicas, o mineral pode formar complexos com outros componentes no intestino, o que pode dificultar ou facilitar a absorção do mineral pela mucosa, seu transporte ou seu metabolismo no organismo. Além disso, somente as análises químicas de uma dieta ou de um determinado ingrediente não indicam a efetividade biológica de um nutriente (AMARARANTE et al., 2011).

Verificou-se também que as concentrações de Mn não diferiram significativamente nas amostras SCVQ, SCCQ, SOCV e SOVV (Tabela 10). Entretanto, nas amostras de açúcar mascavo de TEST e SCAQ, os teores de Mn foram mais altos quando comparados com as dos demais tratamentos. Levando-se em consideração o aspecto nutricional sobre a necessidade diária recomendada para o Mn na alimentação humana, que segundo a WHO (1996) é de 3 mg dia^{-1} , em todas as amostras de açúcar mascavo, tanto do sistemas de produção de manejo orgânico como de convencional, os valores detectados estiveram abaixo tanto do valor máximo de ingestão diária crônica permitido de um nutriente (11 mg dia^{-1}), quanto do valor recomendado para a dieta humana (WHO, 2006).

Comparando-se os teores de Mn nas amostras com o valor descrito na TACO (2011) que é de $2,03 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, somente a amostra SCAQ apresentou teor de Mn dentro do valor esperado ($2,05 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$). Nas demais amostras, os teores de Mn foram menores (TEST, $1,84 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$; SCVQ, $1,54 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$; SCCQ, $1,57 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$; SOCV, $1,59 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ e SOVV, $1,53 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) do que os que constam na TACO (2011) .

Wilwerth et al. (2009) utilizaram a técnica de espectrometria de emissão em plasma (ICP) na determinação de nutrientes minerais em açúcar mascavo e detectaram valores de Mn entre $2,1$ e $56,2 \text{ mg kg}^{-1}$. Observou-se, portanto, que os resultados aqui relatados de açúcar mascavo proveniente de vários tratamentos do plantio da cana são semelhantes (entre $15,41$ e $20,46 \text{ mg kg}^{-1}$) aos encontrados por esses autores.

Entretanto, em outro estudo descrito por Waheed e Ahmad (2008) utilizando a análise instrumental por ativação com nêutrons (INAA) na determinação de Mn em açúcar mascavo, o teor de Mn detectado foi da ordem de $3,70 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$, menor do que os encontrados nesse estudo.

Quanto ao sistema de produção, observa-se na Tabela 2, que dos 17 estudos realizados, 13 estudos relatam que os teores de Mn nos alimentos estudados foram iguais para os alimentos obtidos por produção orgânica e convencional, e quatro estudos relatam que houve decréscimos no teor de Mn no sistema orgânico. Desta forma, os resultados obtidos nas amostras SCVQ, SCCQ, SOCV, e SOVV neste trabalho estão condizentes com os dados reportados na Tabela 2.

O manganês é um nutriente essencial em pequenas quantidades para muitos organismos vivos, incluindo o ser humano, principalmente em processos reprodutivos, manutenção da estrutura óssea e funcionamento do sistema nervoso. A principal fonte de exposição da população geral é por consumo de alimentos ou suplementos nutricionais contendo manganês, no entanto, o metal apresenta baixa toxicidade após ingestão. As algas e plânctons podem consumir e concentrar o manganês. O metal pode ter sua concentração aumentada no ambiente, em função da atividade industrial e da decomposição de combustíveis fósseis (AZEVEDO; CHASIN, 2003). No organismo, o

manganês também exerce papel importante na síntese da protrombina na presença de vitamina K e das enzimas glicosiltransferases, participando da síntese de mucopolissacarídeos e intervindo indiretamente na condrogênese e osteogênese. Esse elemento é essencial para o metabolismo do colesterol, crescimento corpóreo e reprodução. Sua deficiência causa modificações nas estruturas celulares, deformações específicas do esqueleto, podendo ter sua causa associada, muitas vezes, à presença de cálcio, fosfato, ferro e carbonato, que reduzem a absorção do manganês (FRANCO, 2007).

A exposição em níveis muito elevados pode resultar em efeitos neurológicos e neuropsiquiátricos, como alucinações, instabilidade emocional, fraqueza, distúrbios de comportamento e da fala, que culminam em uma doença, semelhante ao Mal de Parkinson, denominada Manganismo. Com a progressão da doença tem-se alterações na expressão facial, tremores, ataxia, rigidez muscular e distúrbios de marcha (AZEVEDO; CHASIN, 2003).

A exposição ao Mn por alimentos varia dependendo do tipo de alimento ingerido. A maior concentração de Mn é encontrada em cereais e alimento de origem vegetal como trigo e arroz, folhas de chá e os vegetais em geral. Segundo ATSDR (2012), a quantidade total do manganês de um alimento ou dieta não indica a quantidade que será biodisponível, devido a fatores químicos e alimentícios e ao estado nutricional do indivíduo.

O teor de Fe nas amostras de açúcar mascavo foi estatisticamente igual nas amostras (TEST, 14,28 mg kg⁻¹; SOCV, 15,20 mg kg⁻¹ e SCCQ, 14,31 mg kg⁻¹) e diferentes das demais (Tabela 10), sendo que na amostra de açúcar mascavo do tratamento convencional sem calcário e com adubo químico (SCAQ, 19,01 mg kg⁻¹) foi onde se detectou as maiores concentrações. Por outro lado, a menor concentração de Fe foi detectada na amostra de açúcar mascavo oriunda do tratamento orgânico com adição de composto e corretivo orgânico (SOVV, 12,35 mg kg⁻¹). Entretanto, isso não nos permite afirmar que existe diferença entre os processos convencionais e orgânicos, já que o terceiro maior teor de Fe foi encontrado no sistema orgânico com adição de calcário e composto orgânico (SOCV, 15,20 mg kg⁻¹).

Considerando-se uma ingestão diária de 100 gramas de açúcar mascavo orgânico e convencional analisadas neste estudo, e de acordo com as concentrações descritas na Tabela 10, a ordem decrescente de quantidade de Fe em 100g do açúcar mascavo de acordo com o tratamento da cana seria (em mg 100g⁻¹): SCAQ (1,90) > SCVQ (1,69) > SOCV (1,52) > SCCQ (1,43) > TEST (1,43) > SOVV (1,23). Verificou-se, que no aspecto nutricional as amostras analisadas de todos os sistemas de produção estão abaixo da necessidade diária recomendada para o Fe na alimentação humana, que segundo a WHO (1996) é de 20 mg dia⁻¹, e muito abaixo do limite máximo tolerável de ingestão (WHO, 2006), que é de 45 mg dia⁻¹. Ainda comparando os teores de Fe das amostras analisadas com o valor descrito na TACO (2011), que é de 8,3mg 100g⁻¹ de açúcar mascavo, todas as amostras analisadas apresentaram teor de Fe abaixo do valor limite.

Os teores de Fe encontrados neste estudo também estão abaixo dos que foram encontrados por outros autores. Faria (2012) avaliou a concentração de Fe em vários tipos de amostras de açúcar, sendo que o teor de Fe encontrado no açúcar mascavo orgânico foi de 53,4 mg kg⁻¹, que também foi similar ao encontrado por Waheed; Ahmad (2008) em amostras de açúcar mascavo que foi de 52,1 µg g⁻¹. Em outro estudo conduzido por Skrbic et al. (2003) com amostras de açúcar de beterraba, os teores de Fe variaram de 10,61 a 54,65 mg kg⁻¹. Leblebici e Volkan (1998) detectaram teor médio de Fe em açúcar branco de 1,65 mg kg⁻¹. Segundo Quinaia; Nobrega (2000) quanto maior for o número de processos envolvidos no tratamento para refino, menor será a quantidade de metais encontrados no açúcar.

Na Tabela 2, dos 22 estudos realizados, 16 estudos relatam que os teores de Fe nos alimentos estudados foram iguais para os alimentos obtidos na produção orgânica e convencional, e seis estudos relatam que houve aumento no teor de Fe no sistema orgânico.

De acordo com Oliveira et al. (2007), o teor nutritivo do Fe descrito Tabela 3 pode variar de 1,9 a 4 mg 100g⁻¹ de açúcar mascavo. Enquanto que o teor de Fe encontrados por Waheed e Ahmad (2008) nas amostras de açúcar mascavo foi de 52,1 µg g⁻¹ ou (5,2 mg 100g⁻¹). Verifica-se, portanto, que o teor

nutritivo de Fe encontrados por nós no açúcar mascavo dos diferentes tratamentos estão abaixo dos relatados por esses autores.

Menezes et al. (2003) afirmaram que variações no teor de nutrientes dos alimentos são normais, e ocorrem em função da variedade do vegetal, de safra, solo, clima, produção, formulação e até mesmo a qualidade analítica na detecção desses nutrientes.

O ferro caracteriza-se por ser um metal de transição e a extensão de sua utilização biológica está na capacidade de existir em diferentes estados de oxidação, formar muitos complexos, além de agir como um centro catalítico para diversas funções metabólicas. Presente na hemoglobina, este mineral é de fundamental importância para o transporte de oxigênio e dióxido de carbono no sangue; essencial à respiração celular aeróbica, além de participar de componentes de numerosas enzimas celulares importantes para o funcionamento do sistema imunológico, assim como dos citocromos que são indispensáveis para a produção de energia; de enzimas no ciclo do ácido cítrico; ribonucleotídeo redutase e NADPH redutase e, ainda, na síntese de dopamina, serotonina, catecolaminas e, possivelmente, do ácido gama-aminobutírico e na formação de mielina (CARPENTER; MAHONEY, 1992).

Sugerem-se novos estudos para avaliar e monitorar os teores dos nutrientes minerais e metais pesados do açúcar mascavo produzido com cana de açúcar cultivada em sistema orgânico, para certificar sua segurança alimentar e a influência deste sistema de produção da cana sobre a quantidade dos nutrientes minerais no açúcar mascavo resultante.

Como perspectivas futuras deste estudo sugerem-se a construção de uma Tabela de Composição de Alimentos Orgânicos que são produzidos, comercializados e consumidos em diversas regiões do Brasil, para obtenção de subsídios visando à interpretação de estudos comparativos entre sistemas de cultivo orgânico e convencional e o controle da qualidade e segurança alimentar.

5 CONCLUSÕES

As amostras de açúcar mascavo obtidas de canas cultivadas pelos sistemas: sistema convencional com corretivo orgânico e adubo químico, sistema orgânico com calcário e composto orgânico e sistema convencional com calcário e adubo químico, apresentaram contaminação por Pb. As concentrações encontradas estavam acima dos valores máximos permitidos pela legislação brasileira e seu consumo pode apresentar risco para a saúde humana.

Os teores dos nutrientes minerais (Cu, Zn, Mn e Fe) encontrados nas amostras de açúcar mascavo proveniente de cana-de-açúcar de diferentes tratamentos foram inferiores aos recomendados pela Organização Mundial da Saúde.

O sistema convencional sem calcário e com adubo químico foi o que resultou em açúcar mascavo com os maiores teores de Cu, Zn, Mn e Fe. O sistema orgânico com corretivo orgânico e composto orgânico foi o que apresentou menor teor dos nutrientes minerais.

As diferenças encontradas, porém ainda não são suficientes para afirmar que houve influência dos sistemas de produção da cana-de-açúcar sobre a quantidade dos nutrientes minerais no açúcar mascavo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARSO. AFRICAN ORGANISATION FOR STANDARDISATION. BROWN SUGARS - SPECIFICATION, 2012. Disponível em: < <http://www.arso-organ.org/wp-content/uploads/2012/10/CD-ARS-876-2012-Brown-sugars-%E2%80%94-Specification.pdf>>. Acesso em: 23 Jan 2014.

ATSDR. AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological profile for manganese**, 2012. Disponível em: < <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp151.pdf>>. Acesso em: 02 mar 2014.

AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 16th ed. Arlington (USA): AOAC, 1995. v. 2, chapter 30, p. 2-14

ALMEIDA, M. M. B.; SOUSA, P. H. M.; FONSECA, M. L.; MAGALHÃES, C. E. C.; LOPES, M. F. G.; LEMOS, T. L. G. Avaliação de macro e micronutrientes em frutas tropicais cultivadas no nordeste brasileiro. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 3, p. 581-586, 2009.

ALTIERI, M. A. Agroecologia, agricultura camponesa e soberania alimentar. **Revista NERA**, São Paulo, v.13 n.16, p. 22-32, 2010.

ALVARENGA, G. A. Importância dos nutrientes para uma vida saudável. 2007 Disponível em: < http://www.foreverliving.com.br/arqs/downloads/detalhe_1224594990_flp_cartilha_nutricao_20071214_web.pdf>. Acesso em: 03 abr 2014.

AMARANTE, C. B.; GERMANO, C. M.; LUCAS, C. A. Determinação dos nutrientes: Cu, Fe, Zn e Mn em plantas alimentícias consumidas na comunidade Rio Urubueua de Fátima, Abaetetuba, PA. **Enciclopedia Biosfera**, Centro Científico Conhecer. Goiânia, v. 7, n.12, p. 1-11, 2011.

AMORIM, F. A. C.; LOBO, I. P.; SANTOS, V. L. C. S.; FERREIRA, S. L. C. Espectrometria de absorção atômica: o caminho para determinações multi-elementares. **Química Nova**, Bahia, v. 31, n. 7, p.1784-1790, 2008.

ARBOS, K. A.; DE FREITAS, R. J. S.; STERTZ, S. C.; DORNAS, M. F. Atividade antioxidante e teor de fenólicos totais em hortaliças orgânicas e convencionais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.30, n. 2, p. 501-506, 2010.

AZEVEDO, E. **Qualidade de vida na perspectiva da agricultura familiar orgânica**. In: IV Encontro Nacional da ANPPAS, de 4 a 6 jun. Brasília, DF, 2008, p. 9.

AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. M. **Metais: Gerenciamento da Toxicidade**. São Paulo, Editora Atheneu, 2003, 554p.

BALSAN, R. Impacto Decorrente da Modernização da Agricultura Brasileira. **Revista de Geografia Agrária**, Rio Grande, v. 1, n. 2, p. 123-151, 2006.

BOARETTO, A. E.; MORAES, M. F. Comparação da nutrição adequada para qualidade dos alimentos. *In*. PRADO, R. M. et al. **Nutrição de Plantas: diagnose foliar em hortaliças**. Jaboticabal, FCA/FAPESP/CAPS, FUNDUNESP, p. 9-44, 2010.

BORGES, D. L. G.; CURTIUS, A. J.; WELZ, B.; HEITMANN, U. Fundamentos da espectrometria de absorção atômica de alta resolução com fonte contínua. **Revista Analytica**, n.18, p. 58-66, 2005.

BRASIL. Resolução nº 12, de 30 de março de 1978. Aprova as normas especiais relativas a alimentos e bebidas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 24 jul. 1978. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria n. 685, de 28 de agosto de 1998. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 28 ago. 1998. p. 28.

BRASIL. Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 30 set 2013.

BRASIL. Lei nº 11.346, de 15 de setembro de 2006. Cria o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional – SISAN com vistas em assegurar o direito humano à alimentação adequada e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11346.htm>. Acesso em: 01 set 2013.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução - RDC n. 42, de 29 de agosto de 2013. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 30 ago. 2013. p. 33-35.

CALLEGARI, F. L.; SALOME, C. M.; ROCHA, A. V. da; GONÇALVES, C. A. A.; GIABOTTI, S.; SILVA, M. B. L.; PEREIRA, L. A. Desenvolvimento, aceitabilidade e intenção de compra de cookie de frutas. **Norte Científico**, Uberaba, v.5, n.1, p. 161-168, 2010.

CAPITANI, E. M. Metabolismo do chumbo em crianças e adultos. **Medicina (Ribeirão Preto. Online)**, Ribeirão Preto, v. 42, n. 3, p. 1-9, 2009.

CARPENTER, C. E.; MAHONEY A. W. Contributions of heme and nonheme iron to human nutrition. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Logan–Utah, v. 31, n. 4, p. 333-367, 1992.

CORCINO, J. R. S.; CLEMENTE, A. D.; MARTINS, F. F. **Avaliação do processo de lixiviação dos metais pesados Pb e Ni através de ensaios de coluna de solo**. In: 6º Seminário de Iniciação Científica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. 2012, p.1-4. Disponível em: <<http://conferencias.ifg.edu.br/index.php/seminarioict/SICT/paper/downloadSupportFile/390/173>>. Acesso em: 09 set 2013.

DALLATU, Y. A.; ABECHI, S. E.; ABBA, H.; MOHAMMED, U.S.; ONA, E.C.. Level of heavy metals in fresh and canned foods consumed in North Central Nigeria. **Scholarly Journal of Agricultural Science**, Nigeria, v. 3, n. 6, p. 210-213, 2013.

DANTAS, L. C.; THIOLENT, M. Inovação técnica nas pequenas unidades produtivas tradicionais: o caso da indústria sucroalcooleira artesanal. In: XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Porto Alegre, RS, 2005, p. 1-9.

DANGOUR, A. D.; DODHIA, S. K.; HAYTER, A.; ALLEN, E.; LOCK, K.; UAUY, R. Nutritional quality of organic foods: a systemic review. **The American Journal of Clinical Nutrition**, London, v. 92, n. 1, p. 203-210, 2009.

DAROLT, M. R. **Comparação entre a qualidade do alimento orgânico e a do convencional**. In: Alimentos orgânicos: produção, tecnologia e certificação/ Strigheta, P.C.; Muniz, J.N. (orgs). p. 289-312. 2003. Disponível em: <ftp://ftp.cidasc.sc.gov.br/agroecologia/Moacir%20Darolt%20Cap%20Qualidade%202009.pdf>. Acesso em: 13 set 2013.

DRAGUNSKI, D. C.; BRITO, D.D.; NEVES, B. M.; BOLSON, M. P. G.; JESUS, D. R. Quantificação de minerais no processo de fabricação do açúcar da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). 32ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2009, Fortaleza – CE.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. Tradução de João Alves dos Santos, revisão de Sueli Bastos, coordenação editorial de Antônio Christofolletti. 6. ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2005.

ECOFINANÇAS. Açúcar mascavo brasileiro é destaque na Biofach 2012. Disponível em: <<http://www.ecofinancas.com/noticias/acucar-mascavo-organico-brasileiro-destaque-biofach-2012>>. Acesso em: 14 set 2013.

ESTEVAM, D. O. ; RONÇANI, L. D. Segurança alimentar e consumismo na contemporaneidade: a agricultura familiar como resposta aos desafios para

uma alimentação saudável. *In: VII Jornadas de Sociologia de La Universidad Nacional de La Plata*, Argentina, 2012, p. 1-21.

FAVARO, D. I. T.; AFONSO, C.; VASCONCELLOS, M. B. A.; COZZOLINO, E, S. M. F. Determinação de elementos minerais e traços por ativação neutrônica, refeições servidas no restaurante da Faculdade de Saúde Pública, USP. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. [online], Campinas, v. 20, n. 2, p. 176-182, 2000.

FARIA, D. A. M. **Estudo nutricional e sensorial de açúcar cristal, refinado, demerara e mascavo orgânico e convencional**. 2012. 73 f. Tese (Mestrado em Agroecologia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2012.

FERNANDES, L. G. V.; BRAGA, C. M. P.; KAJISHIMA, S.; SPOTO, M. H. F.; BORGES, M. T. M. R.; VERRUMA-BERNARDI, M. R. Caracterização físico-química e sensorial de geleias de goiaba preparadas com açúcar mascavo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.15, n.2, p.167-172, 2013.

FRANCO, G. **Tabela de Composição Química dos Alimentos**. São Paulo, Editora Atheneu, 9ª ed., 2007, 307p.

GENEROSO, W. C.; BORGES, M. T. M. R.; CECCATO-ANTONINI, S. R.; MARINO, A. L. F.; SILVA, M. V. M.; NASSU, R. T.; VERRUMA-BERNARDI, M. R. Avaliação microbiológica e físico-química de açúcares mascavos comerciais. **Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 68, n. 2, p. 259-268, 2009.

GOMES, M. V. T.; SATO, Y. Avaliação da contaminação por metais pesados em peixes do rio São Francisco à jusante da represa de Três Marias, Minas Gerais, BRASIL. **Revista. Saúde & Ambiente**, Duque de Caxias, v. 6, n.1, p. 24-30, 2011.

GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; PIERANGELI, M. A. P.; ZULIANI, D. Q.; CAMPOS, M. L.; MARCHI, G. Elementos-Traços em solo e sistemas aquáticos. **Tópicos em Ciências do Solo**, Viçosa, v. 4, p. 345-390, 2005.

HORRIGAN, L.; LAWRENCE, R. S.; WALKER, P. How sustainable agriculture can address the environmental and human health harms of industrial agriculture. **Environmental Health Perspectives**, Maryland-USA, v.110, n.5, p. 445-456, 2002.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Orientações sobre validação de métodos de ensaios químicos**, DOQ-CGCRE-008, 3ª. rev. p. 2-20, 2010.

IFOAM. INTERNATIONAL FEDERATION OF ORGANIC AGRICULTURAL MOVEMENTS. Definition of Organic Agriculture. In: General Assembly in Vignola, Italy in June 2008. Disponível em: <<http://www.ifoam.org/en/organic-landmarks/definition-organic-agriculture>>. Acesso em: 09 out 2013

KAC, G.; PROENÇA, R. P. C.; PRADO, S. D. A criação da área “nutrição” na Capes. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 24, n. 6, p. 905-916, 2011.

KRUG, F. J. ; NÓBREGA, J. A.; OLIVEIRA, P. V. Espectrometria de absorção atômica – Fundamentos e atomização com chama. Apostila CENA, USP, 2004. Disponível em: <<http://apostilas.cena.usp.br/Krug/AAS%20geral%20parte%201%20revisada.pdf>>. Acesso em: 14 set 2013.

LAIRON, D. Nutritional quality and safety of organic food. A review. **Agronomy Sustainable Development**, Marseille-France, v.30, n.1, p.33-41, 2009.

LEBLEBICI J, VOLKAN M. Sample Preparation for Arsenic, Copper, Iron, and Lead determination in Sugar. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Ankara -Turkey, v. 46, n. 1, p.1173-1177, 1998.

LIMA, V. F.; MERÇON, F. Metais pesados no ensino de química. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 199-205, 2011.

MACEDO, E. C.; AMORIM, M. A. F.; SILVA, A. C. S.; CASTRO, C. M. M. B. Efeitos da deficiência de cobre, zinco e magnésio sobre o sistema imune de crianças com desnutrição grave. **Revista Paulista de Pediatria**. [online], Recife, v. 28, n. 3, p. 329-336, 2010.

MACHADO, S. S.; BUENO, P. R. M., OLIVEIRA, M. B., MOURA, C. J. Concentração de chumbo em alface cultivada com diferentes adubos orgânicos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.10, n.1, p.63-70, 2008.

MARTINS, C. T.; MERCÊS, A.; ALVITO, P. Ocorrência de cádmio em produtos à base de cereais, de origem convencional e biológica, destinados à alimentação infantil. **Saúde & Tecnologia**, Lisboa, v. 3, n.1, p. 10-14, 2009.

MARTINS, C. A. S.; NOGUEIRA, N. O.; RIBEIRO, P. H.; RIGO, M. M.; CANDIDO, A. O. Dinâmica de metais-traço no solo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 17, n. 3-4, p. 383-391, 2011.

MENEZES, E. W.; GIUNTINI, E. B.; LAJOLO, F. M. Quality and variability of food composition data. **Revista da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição**, São Paulo, v. 26, n.1, p. 63-76, dez., 2003.

MINGUETTI, F. F. **Influência dos sistemas de produção, convencional e orgânico, na qualidade da cana de açúcar (saccharum spp) e do açúcar mascavo**. 2012. 76 f. Tese (Mestrado em Agroecologia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2012.

MIOR, L. C. Trajetória das agroindústrias familiares rurais no Estado de Santa Catarina (Brasil). In: IV Congresso Internacional de La Red SIAL. Mar Del Plata, Argentina, 2008, p. 1-23.

MISHRA, S.; MUDGAL, V.; MADAAN, N.; NUDAGAL, A.; SINGH, R. B. Effect of toxic metals on human health. The Open **Nutraceuticals Journal**, India, v.3, p. 94-99, 2010.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. A cinética do chumbo no organismo humano e sua importância para a saúde. **Ciência e Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v.9, n.1, p.167-181, 2004.

NASCIMENTO, B. L. M.; DE SOUZA GOMES, D. R. C.; ARAÚJO, S. S.; OLIVEIRA, J. D. Extração seqüencial de ferro e cobre em olerícolas orgânicas e convencionais comercializadas em Imperatriz, Maranhão. **ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Maranhão, v.9, n.3, p 1-7, 2013.

NOGUEIRA, A. R. Preparo de amostras. *In*: VIII Encontro nacional sobre métodos dos laboratórios da Embrapa, 8., 2003, Jaguariúna, SP. Novas perspectivas para os laboratórios da Embrapa. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003, p. 2-20.

OLIVEIRA, R. C. B.; MARTINS, R. V. Dinâmica de metais-traço em solo e ambiente sedimentar estuarino como um fator determinante no aporte desses Contaminantes para o ambiente aquático: Revisão. **Revista Virtual de Química**, Fortaleza-CE, v.3 n. 2, p. 88-102, 2011.

O Novo Ciclo da Cana: Estudo sobre a competitividade do Sistema Agroindustrial da Cana de açúcar e Prospecção de Novos Empreendimentos. Ed. IEL. Brasília: IEL/NC; SEBRAE, 2005. 344p.

OLIVEIRA, J. C.; NASCIMENTO, R. J.; BRITTO, W. S. F. Demonstração dos custos cadeia produtiva da rapadura: estudo realizado no Vale do São Francisco. Petrolina, PE, **Custos e @gronegocio** [on line], Petrolina, v.3, ed. especial p.79-99, 2007.

OLIVEIRA, B. K.; PLÁCIDO, G. R., FURTADO, D. C.; MOURA, L. C.; SOUZA, D. G.; LIMA, M. S. **Elaboração e análise sensorial de geléia de mangaba com açúcar mascavo**. *In*: I Congresso de Pesquisa e Pós-Graduação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde. 06 e 07 de Nov. de 2012, p. 1-3.

PEDRAZA, D. F.; DE QUEIROZ, D. Micronutrientes no crescimento e desenvolvimento infantil. **Revista Brasileira de Crescimento e Desenvolvimento Humano**, São Paulo, v. 21, n. 1, p.156-171, 2011.

QUINAIA, S. P.; NOBREGA, J. A. Determinação direta de cromo em açúcar e leite por espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica em forno de grafite. **Química Nova**, São Paulo, v.23, n.2, p.16-18, 2000.

REMBIAŁKOWSKA, E. Quality of plant products from organic. **Journal Science of Food and Agriculture**, Warszawa-Poland, v. 87, n.15, p. 2757–2762, 2007.

SAMINÊZ, T. C. O.; DIAS, R. P.; NOBRE, F. G. A.; MATTAR, R. G. H.; GONÇALVES, J. R. A. Princípios norteadores da produção orgânica de hortaliças. EMBRAPA, Brasília, DF. Jul, 2008. Disponível em: <http://www.cnph.embrapa.br/paginas/serie_documentos/publicacoes2008/ct_67.pdf>. Acesso em: 02 set 2013.

SANTANA, G. P. A toxicidade dos metais pesados, 2008. Disponível em: <file:///F:/Mestrado/Metais_pesados.htm>. Acesso em: 09 set 2013.

SANTOS, G. C.; MONTEIRO, M. Organic foods production system. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.15, n.1, p. 73-86, 2004.

SARNI, R. O. S.; SOUZA, F. I. S.; COCCO, R. R.; MALLOZI, M. C.; SOLÉ, D. Nutrientes e sistema imunológico. **Revista Brasileira de Alergia e imunopatologia**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 8-13, 2010.

SAS. Sas Institute Inc. 1989. SAS/STAT; user's guide: version 6, 4. Ed. Cary, SA, v.2, 846p.

SILVA, C. S.; NUNES, P. O.; MESCOUTO, C. S. T.; MULLER, R. C. S.; PALHETA, D. C.; FERNANDES, K. G. Avaliação do uso da casca do fruto e das folhas de caesalpinia férrea martius como suplemento nutricional de Fe, Mn e Zn. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n.3, p. 751-754, 2010.

SEBRAE. Sistema agroindustrial da cachaça de alambique – Estudo técnico das alternativas de aproveitamento da cana de açúcar. SEBRAE, Belo Horizonte – MG, p. 6-53, 2004. Disponível em: <[http://bis.sebrae.com.br/GestorRepositorio/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/740AA1AC01D4EE8D03256ECA004C09C8/\\$File/NT000227FE.pdf](http://bis.sebrae.com.br/GestorRepositorio/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/740AA1AC01D4EE8D03256ECA004C09C8/$File/NT000227FE.pdf)>. Acesso em: 6 set 2013.

SMOLINSKI, R.; GUERREIRO, E.; RAIHER, A. P. **Análise do mercado de produtos orgânicos**: Estudo de caso de feira em Ponta Grossa, PR. Desenvolvimento e Meio Ambiente. Paraná, Editora UFPR, n. 23, p. 167-182, 2011.

SKRBIC, B.; CUPIC, C.; CVEJANOV, J. Determination of heavy metals in beet sugar samples from Vojvodina Province. **Journal of Environmental Protection and Ecology**, Yugoslavia, v.4, n.3, p. 657-661, 2003.

TACO. TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS, 4. ed. UNICAMP, Campinas, 2011. 161 p.

TAVARES, A. D. **Determinação de cádmio em alimentos e bebidas industrializados por espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica**. 2010. 73 f. Tese (Doutorado em Química) – Departamento de Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

TEIXEIRA, J. C. Modernização da agricultura no Brasil: impactos econômicos, sociais e ambientais. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, Três Lagoas-MS, v.2, n.2, p.21-42, 2005. Disponível em: <<http://www.ceul.ufms.br/revista-geo/jodenir.pdf>> . Acesso em: 2013 nov 23.

TOMASETTO, M. Z. C.; DE LIMA, J. F.; SHIKIDA, P. F. A. Desenvolvimento local e agricultura familiar: o caso da produção de açúcar mascavo em Capanema – Paraná. Campo Grande. **Interações**, Campo Grande, v. 10, n. 1, p. 21-30, 2009.

TSUTIYA, M. T. Metais pesados: o principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos. *In.*: 20^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, RJ. **Anais ABES**, 1999, p. 753-761.

VIEIRA, M. C. A.; LIMA, J. F.; BRAGA, N. M. Setor sucroalcooleiro brasileiro: evolução e perspectivas. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/liv_perspectivas/07.pdf>. Acesso em: 2013 nov 13.

WAHEED, S.; AHMAD, S. Instrumental neutron activation analysis of different products from the sugarcane industry in Pakistan – Part 1 : Essential elements for nutritional adequacy. **Journal of AOAC international**, Pakistan, v. 91, n. 2, p. 392-397, 2008.

WAHEED, S.; RAHMAN, S.; GILL, K. P. INAA and AAS of different products from sugar cane industry in Pakistan: Toxic trace elements for nutritional safety. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Pakistan, v. 279, n. 3, p. 725-731, 2009.

WILWERTH, M. W.; SILVA, C. V. N.; SOUZA, G. B.; BERNARDI, A. C. C.; LOPES, C. H.; BORGES, M. T. M. R.; VERRUMA-BERNARDI, M. R. Determinação de minerais e metais pesados em açúcar mascavo. *In.*: XVII Congresso de Iniciação científica, 2009, São Carlos. **Anais**. de Eventos da UFSCar, v. 5, p. 94, 2009.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Trace elements in human nutrition and health**. Geneva, 1996. 343p.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. Principles and methods for the assessment of risk from essential trace elements. International programme on chemical safety environmental health criteria 228. Geneva, 2002, 60 p.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines on food fortification with micronutrients. WHO/FAO. 2006. 376 p. Disponível em: <<http://www.who.int/nutrition>>. Acesso em: 20 fev 2014.

YAHAYA, D. B.; AREMU, D. A.; ABDULLAHI, I. Investigation of metal contaminants in locally ground foods (Beans and Tomatoes). **Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences**, Kano-Nigeria, v. 3, n. 1, p. 339-343, 2012.