**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Desenvolvimento de procedimento analítico limpo para
determinação do teor de umidade em tomates *Sweet Grape*
(*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*)**

Jéssica Fernanda Scatolin Russo

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Ciência
e Tecnologia de Alimentos

**Piracicaba
2020**

Jéssica Fernanda Scatolin Russo
Bacharela em Ciências dos Alimentos

Desenvolvimento de procedimento analítico limpo para determinação do teor de umidade em tomates *Sweet Grape* (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*)

Orientadora:
Profa. Dra. **WANESSA MELCHERT MATTOS**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Ciência
e Tecnologia de Alimentos

Piracicaba
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Russo, Jéssica Fernanda Scatolin

Desenvolvimento de procedimento analítico limpo para determinação do teor de umidade em tomates Sweet Grape (*Solanum lycopersicum* var. cerasiforme) / Jéssica Fernanda Scatolin Russo. - - Piracicaba, 2020.

56p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Tomate 2. Umidade 3. Química analítica verde 4. Imagens digitais 5.

RGB I. Título

DEDICATÓRIA

À minha mãe Selma Regina Scatolin
Russo (*in memoriam*). Sempre foi e
sempre será por você.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ser meu refúgio e fortaleza, e nunca me abandonar, mesmo nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, Antonio Carlos e Selma (*in memoriam*), e meu irmão, Jefferson, por confiarem em mim e não medirem esforços para que eu pudesse concluir mais uma etapa. À vocês dedico minha vida.

Ao meu melhor amigo e parceiro de vida, Thiago, pela paciência, disponibilidade em ajudar e participar de mais essa etapa comigo.

À minha orientadora, tutora e amiga, Profa. Dra. Wanessa Melchert Mattos. Serei eternamente grata por todo aprendizado, pelas horas de conversa sobre como devemos valorizar os pequenos momentos com nossa família, e por todos os conselhos. Gratidão por ter sido tão presente. Lecionar e orientar são dons que, com certeza, você possui.

Ao Grupo de Estudos em Química Analítica Verde (GEQAV) e todos os membros que tive a oportunidade de conhecer e desfrutar de momentos descontraídos e dividir as angústias das disciplinas e rotinas do laboratório.

À Rita, por ser mais do que técnica de laboratório, mas sim uma amiga, sempre disposta a ouvir e ajudar.

À Sanavita, por entender a importância da pós graduação e permitir que eu cursasse o Mestrado em paralelo ao trabalho.

Agradeço a todos aqueles que porventura não mencionei, mas, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

EPÍGRAFE

“Escolha um trabalho que você ame e
não terá que trabalhar um único dia
em sua vida.”

Confúcio

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS.....	15
LISTA DE TABELAS.....	17
1. INTRODUÇÃO.....	19
1.1. Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)	20
1.2. Tomate Sweet Grape (<i>Solanum lycopersicum</i> var. <i>cerasiforme</i>).....	22
1.3. Teor de umidade	25
1.4. Química Verde e Química Analítica Verde.....	27
1.5. Imagens digitais.....	30
2. MATERIAL E MÉTODOS	35
2.1. Aquisição e preparo da matéria-prima	35
2.2. Reagentes e soluções	36
2.3. Determinação do teor de umidade.....	37
2.3.1. Procedimento de referência.....	37
2.3.2. Procedimento proposto.....	37
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
3.1. Preparo da amostra	40
3.2. Quantificação do teor de umidade	42
3.3. Quantificação do teor de umidade em amostras comerciais	44
4. CONCLUSÃO	50
REFERÊNCIAS	51

RESUMO

Desenvolvimento de procedimento analítico limpo para determinação do teor de umidade em tomates *Sweet Grape* (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*)

O tomate é uma das olerícolas mais difundidas no mundo devido à versatilidade de consumo, volume de produção e valor socioeconômico. O tomate *Sweet Grape* (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) tem se destacado pela coloração vermelha intensa, o mini formato arredondado e sabor adocicado. Tomates que apresentam maior teor de umidade são os mais suculentos e, portanto, mais apreciados pelo consumidor. Porém, a quantidade de água e de açúcar presentes em alimento é considerada um dos parâmetros físico-químicos mais importantes, pois reflete o teor de sólidos e perecibilidade, o que torna o tomate produto altamente perecível. Portanto, quantificar o teor de umidade é importante para avaliar se os frutos apresentam características comerciais e, consequentemente, indicar a qualidade dos mesmos. O procedimento de referência para determinação do teor de umidade baseia-se na técnica gravimétrica, metodologia simples e de baixo custo, porém tediosa e morosa. O conceito de Química Verde surgiu devido à necessidade de promover a conscientização a respeito dos efeitos da química ao meio ambiente, preconizando por mais sustentabilidade, nos quais os riscos fossem minimizados e tornando os métodos analíticos mais limpos e ambientalmente amigáveis. O presente estudo desenvolveu procedimento alternativo limpo, confiável e não tedioso, que permitiu a determinação do teor de umidade em tomates *Sweet Grape* e que atendeu os princípios da Química Verde. O procedimento proposto foi baseado na quantificação da descoloração do cloreto de cobalto na presença de água e a leitura foi realizada por imagens digitais através do sistema RGB (em inglês *Red*, *Green* e *Blue*). As características analíticas foram obtidas, sendo estimados o limite de detecção e o coeficiente de variação em $0,005 \text{ mol L}^{-1}$ água e 2,45% ($n = 10$), respectivamente. A curva de calibração apresentou resposta linear até $0,75 \text{ mol L}^{-1}$ de água, descrita pela equação: Sinal analítico = $2,05 + 4705 C$ (mol L^{-1}), $R^2 = 0,996$. Para cada determinação, o consumo de reagentes foi estimado em 1,3 mL de etanol anidro e 1,0 mg de cloreto de cobalto. Foram avaliadas 10 amostras comerciais adquiridas no comércio de Piracicaba – SP e os resultados obtidos (86,78 a 97,35%) foram comparados ao método gravimétrico (91,03 a 94,09%) aplicando o teste t pareado de *Student* e não houve diferença significativa entre os resultados obtidos com 95% de confiança. O procedimento desenvolvido requereu menos tempo e, consequentemente, economizou energia, menor quantidade de amostra, utilizou pouca quantidade de reagentes e necessitou de equipamentos simples para leitura, como *smartphone*. Além disso, a metodologia desenvolvida corrobora com os princípios da Química Analítica Verde.

Palavras-chave: Umidade; Tomate; Imagens digitais; RGB; Química analítica verde

ABSTRACT

Development of a clean analytical procedure for moisture determination content in Sweet Grape tomatoes (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*)

The tomato is one of the most widespread vegetables in the world due to the versatility of consumption, volume of production and socioeconomic value. The Sweet Grape tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) has stood out for intense red color, mini round shape and sweet flavor. Tomatoes that have the highest moisture content are the most succulent and appreciated by the consumer. However, the amount of water and sugar present in food is considered one of the most important physical-chemical parameters, as it reflects the content of solids and perishability, which makes tomatoes a highly perishable product. Therefore, quantifying the moisture content is important to assess whether the fruits have commercial characteristics and consequently it can indicate their quality. The reference procedure for moisture determination content is based on the gravimetric technique, a simple and low-cost, but tedious and time-consuming methodology. The concept of Green Chemistry arose out due to the need to promote awareness of the effects of chemistry on the environment, advocating for more sustainability, in which risks were minimized and making analytical methods cleaner and environmentally friendly. The present study developed a clean, reliable and non-tedious alternative procedure which allowed the determination of the moisture content in Sweet Grape tomatoes and which met the principles of Green Chemistry. The proposed procedure was based on the quantification of cobalt chloride discoloration in presence of water and the reading result was performed by digital images using the RGB system (Red, Green and Blue). The analytical characteristics were obtained, and the detection limit and the variation coefficient were estimated at 0.005 mol L⁻¹ water and 2.45% (n = 10), respectively. The calibration curve showed a linear response until 0.75 mol L⁻¹ of water, described by the equation: Analytical signal = 2.05 + 4705 C (mol L⁻¹), R² = 0.996. For each determination, the consumption of reagents was estimated at 1.3 mL of anhydrous ethanol and 1.0 mg of cobalt chloride. Ten commercial samples acquired in Piracicaba - SP were evaluated and the results obtained (86.78 to 97.35%) were compared to the gravimetric method (91.03 to 94.09%) using the Student's paired t test and there was not a significant difference between the results obtained with 95% confidence. The procedure developed required less time and, consequently, saved energy, smaller amount of sample, it used a small amount of reagents and required simple equipment for reading, such as a smartphone. In addition, the methodology developed corroborates the principles of Green Analytical Chemistry.

Keywords: Moisture; Tomato; Digital images; RGB; Green analytical chemistry

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fases do tomateiro (Fase I: transplante das mudas até 60 dias; Fase II: 70 a 100 dias; Fase III: até o final da colheita) (Fonte: Fênix Agronegócio, 2018).	20
Figura 2. Tipos de crescimento das cultivares de tomate (Fonte: adaptado de Wikihow, 2018).	20
Figura 3. Produção mundial (toneladas) de tomate em 2016 (Fonte: adaptado de FAO, 2018).	21
Figura 4. Os 12 princípios da Química Verde propostos por Anastas e Warner em 1998 (Fonte: adaptado de Marco <i>et al.</i> , 2019).	28
Figura 5. Evolução da produção científica dos temas Química Verde e Química Analítica Verde (Fonte: Oliveira, 2012).	30
Figura 6. Representação esquemática do cubo de cores do sistema RGB (Fonte: Corrêa <i>et al.</i> , 2014).	30
Figura 7. Círculo cromático do sistema RGB (Fonte: Corrêa <i>et al.</i> , 2014).	31
Figura 8. Interface do aplicativo de celular <i>Color Grab</i> [®] (Fonte: Autor, 2019).	35
Figura 9. A) Vista frontal e B) lateral do suporte para o celular (Fonte: Autor, 2020).	36
Figura 10. Reação do cloreto de cobalto na presença de água (Fonte: Sader, 2002).	38
Figura 11. Espectros de absorção do cloreto de cobalto em etanol anidro ($\lambda = 657 \text{ nm}$) e na presença de água ($\lambda = 511 \text{ nm}$).	38
Figura 12. Curva de calibração por imagens digitais em <i>smartphones</i> com aberturas focais diferentes.	40
Figura 13. Amostras de tomate A) antes e B) após estufa ventilada a 105°C por 8 horas (Fonte: Autor, 2020).	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Cultivares disponíveis do tomate tipo <i>Sweet Grape</i> (Fonte: adaptado de Lucidarme, 2018).....	24
Tabela 2. Metodologias para determinação do teor de umidade (Fonte: adaptado de Instituto Adolfo Lutz, 2008).....	26
Tabela 3. Comparação entre os 12 princípios da Química Verde e da Química Analítica Verde (Fonte: adaptado de Marco <i>et al.</i> , 2019).....	29
Tabela 4. Teor de umidade obtido com diferentes procedimentos de congelamento.	41
Tabela 5. Teor de umidade obtido no preparo da amostra <i>in natura</i>	41
Tabela 6. Teor de umidade obtido com leitura espectrofotométrica ou imagens digitais, comparando agitação manual e mesa orbital.....	42
Tabela 7. Teste t pareado de <i>Student</i> em 10 amostras de tomate comparando o teor de umidade com leituras espectrofotométricas e por imagens digitais.....	43
Tabela 8. Teste t pareado de <i>Student</i> em 10 amostras de tomate comparando o teor de umidade pelo procedimento convencional (gravimétrico) e por imagens digitais.	44
Tabela 9. Teor de umidade de 10 amostras comerciais de tomate obtido pelo método convencional (gravimétrico) e pelo método proposto (imagens digitais).	45
Tabela 10. Teste t pareado de <i>Student</i> em 10 amostras comerciais de tomate comparando o teor de umidade pelo procedimento convencional (gravimétrico) e por imagens digitais.	46
Tabela 11. Comparação de metodologias para determinação de umidade.....	49

1. INTRODUÇÃO

O tomate é uma das olerícolas mais difundidas no mundo devido à versatilidade de consumo, volume de produção e valor socioeconômico. A composição é basicamente água (cerca de 91 a 95%), açúcar, ácidos, algumas vitaminas e minerais e principalmente, é rico em licopeno, carotenoide relacionado ao combate dos radicais livres e prevenção de câncer.

O tomate *Sweet Grape* (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) tem se destacado devido à coloração vermelha intensa, mini formato arredondado e sabor adocicado, podendo atingir entre 9 a 12^o Brix, diversificando o consumo, que pode ser *in natura*, como fruta, em saladas ou petiscos.

Tomates que apresentam maior teor de umidade são os mais suculentos e, portanto, mais apreciados pelo consumidor. Porém, a quantidade de água presente em um alimento reflete perecibilidade, o que torna o tomate produto altamente perecível. Portanto, quantificar o teor de umidade é importante para avaliar se os frutos apresentam características comerciais e, conseqüentemente, indicar a qualidade dos mesmos. O procedimento de referência para determinação do teor de umidade baseia-se na técnica gravimétrica, metodologia simples e de baixo custo, porém tediosa e morosa.

A Química Verde tem como objetivo o desenvolvimento sustentável e ecologicamente correto das ações científicas e dos processos industriais, evitando ou minimizando os prejuízos ocasionados ao homem e ao meio ambiente. A Química Analítica Verde surgiu a partir da necessidade de desenvolvimento de metodologias rápidas e mais precisas, que utilizem reagentes menos tóxicos e menores quantidades de amostra, reagentes e solventes, e que minimizem os efeitos dos resíduos gerados.

O uso da leitura por imagens digitais, ou seja, a detecção do sistema de cores aditivas no formato RGB (em inglês, *Red*, *Green* e *Blue*; em português, Vermelho, Verde e Azul) presente em equipamentos eletrônicos, como televisões, computadores e câmeras digitais, têm se destacado como área promissora para o desenvolvimento de metodologias alternativas, uma vez que agrega praticidade, efetividade e custos mais baixos, além de concordar com os princípios da Química Verde.

1.1. Tomate (*Solanum lycopersicum*)

O tomate (*Solanum lycopersicum*) pertence à família *Solanaceae*, como o pimentão, berinjela, jiló e fumo, e o plantio é feito pelo mundo todo, já que é uma planta tropical de altitude, a qual é capaz de adaptar com facilidade a quase todos os tipos de clima (ALVARENGA, 2013). Fruto climatérico, possui capacidade de amadurecer mesmo após a colheita devido ao aumento na produção de gás carbônico (CO₂) acompanhado de pico auto catalítico na produção de etileno, o qual coordena e completa o amadurecimento (CAVALINI, 2008).

O ciclo do tomateiro pode ser dividido em três fases, conforme Figura 1.

Figura 1. Fases do tomateiro (Fase I: transplante das mudas até 60 dias; Fase II: 70 a 100 dias; Fase III: até o final da colheita) (Fonte: Fênix Agronegócio, 2018).

A primeira fase dura aproximadamente entre quatro a cinco semanas e compreende o transplante das mudas até o início do florescimento. A segunda fase dura de cinco a seis semanas e estende-se até o início da colheita dos frutos. Por fim, a terceira fase finaliza com a colheita e dura de seis a oito semanas nas cultivares de crescimento indeterminado e apenas três a cinco semanas para as cultivares de crescimento determinado (Figura 2) (ALVARENGA, 2013).

Figura 2. Tipos de crescimento das cultivares de tomate (Fonte: adaptado de Wikihow, 2018).

O tomate destaca-se por ser uma das olerícolas mais difundidas no mundo devido à versatilidade de consumo e também pelo volume de produção e valor socioeconômico. Pode ser classificado em dois tipos: industrial, quando é destinado a processos na indústria para obtenção de tomates seco ou desidratado, molhos, polpas e sucos concentrados; ou de mesa, quando consumido *in natura*, sendo que as principais cultivares são Cereja, Italiano, Salada e Santa Cruz (EMBRAPA, 2018).

Segundo dados da *Food and Agriculture Organization* (FAO), a China é o país que mais produziu tomate em 2016, conforme Figura 3, seguida pela Índia e Estados Unidos. O Brasil atingiu a nona posição da produção mundial (FAO, 2018).

Figura 3. Produção mundial (toneladas) de tomate em 2016 (Fonte: adaptado de FAO, 2018).

Em 2017, no Brasil, a produção de tomates destinados para processamento e consumo *in natura* atingiu 4.373.047 toneladas, em área de 64.644 hectares, com produtividade média em torno de 67,6 toneladas por hectare, o que gerou valor bruto da produção agrícola estimado em R\$ 14 bilhões (IBGE, 2018b; CNA, 2018), sendo que o Estado de Goiás é o maior produtor, o qual deteve 32% da produção, seguido de São Paulo com 20,8% (IBGE, 2018a).

Quanto ao valor nutricional, o tomate é considerado alimento funcional, visto que é rico em licopeno, carotenoide que apresenta atividades antioxidante e anticancerígena. Considerado também boa fonte das vitaminas A e C e composto basicamente por água; açúcar, como glicose e frutose; ácidos graxos monoinsaturados, principalmente oleico e linolênico; ácido fólico, potássio e

magnésio. No entanto, o alimento *in natura* concentra maior quantidade de vitaminas e minerais, principalmente na casca e sementes, partes que são comumente descartadas pela indústria e pelo consumidor. Porém, quando os tomates são transformados em molhos, o licopeno torna-se mais biodisponível. Diante disso, alternativa para melhor aproveitamento do valor nutricional após aquecimento é incorporar a água do cozimento nas preparações culinárias (MONTEIRO *et al.*, 2008; ELBADRAWY, SELLO, 2016; KOWALEWSKA, 2018).

1.2. Tomate *Sweet Grape* (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*)

Dentre as variedades de tomate, o tipo *Sweet Grape* (ou Uva) (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) tem se destacado devido à coloração vermelha intensa, mini formato arredondado e sabor adocicado, o que permite que seja consumido como fruta, petisco ou em saladas (SABIO; VENTURA; CAMPOLI, 2013). Trata-se de híbrido criado pela empresa *Sakata Seed Corporation* no Japão, dez anos antes, e trazido ao Brasil no início da década de 2000. Os primeiros estudos para adaptação dessa variedade tiveram início em janeiro de 2006, de acordo com *Case Studies* (2018), e os primeiros cultivos experimentais ocorreram na Fazenda Tozan, pertencente ao Grupo Tozan, em Campinas, em janeiro de 2007.

Idealmente, segundo *Case Studies* (2018), essa variedade deve apresentar as seguintes características: ser pequeno, alongado, uniforme e bem definido; com casca lisa e fina, e coloração vermelho intenso, assim como a polpa; ter peso médio entre 10 e 20 g, e teor de açúcar elevado, oferecendo grande versatilidade culinária devido ao sabor diferenciado. O teor de açúcares é representado pela concentração de sólidos solúveis, expressa em °Brix. Tomates tradicionais possuem entre 4 e 6 °Brix, enquanto que as variedades cereja ou tipo *grape* possuem doçura elevada, atingindo entre 9 e 12 °Brix (TAKAHASHI, 2014). Para isso, deve-se ter o controle total do ambiente de produção, incluindo cultivar, maturação, controle de pragas, adubação, luz e, principalmente, da temperatura. Recomenda-se, então, o uso de estufas climatizadas para produção, as quais permitem o controle quase que completo do ambiente de cultivo, favorecendo o crescimento dessa variedade o ano inteiro (LUCIDARME, 2018). As estufas possuem cobertura inteira de plástico tratado, sistemas avançados de controle de temperatura (*pad fan*, exaustores e telas termo refletoras), luminosidade (sombrite e malha) e entrada de pragas (antecâmaras e “barreiras” com ventilação).

A produção do tomate *Sweet Grape* ocorre apenas por mudas produzidas e comercializadas pela empresa *Sakata Seed*[®], que importa a semente exclusiva do Japão. Por tratar de um híbrido, não há possibilidade de produzir sementes replicadas. Apesar do custo-benefício ser favorável, devido à boa margem lucrativa, os investimentos são altos, já que o plantio é feito em estufas e a dificuldade está no fator mão-de-obra, visto que existe dificuldade em encontrar trabalhadores dispostos a este cultivo que requer atenção (NEGRISOLI *et al.*, 2015).

A Tabela 1 apresenta as principais cultivares disponíveis do tomate *Sweet Grape* e suas características, considerando o clima aceito, resistências e tolerâncias, sistema de produção e destaques para o mercado, produção e algumas observações relevantes, de acordo com a empresa *Sakata Seed*[®] (LUCIDARME, 2018).

O cultivo orgânico pode ser opção, o qual objetiva o estabelecimento de sistemas agrícolas ecologicamente corretos, economicamente produtivos, altamente eficientes em relação ao uso dos recursos naturais e socialmente bem estruturados, resultando em alimentos saudáveis, livres de resíduos tóxicos e de qualidade superior (BORGUINI, 2002). Para os tomates *Sweet Grape*, por exemplo, leva-se em consideração o número de frutos por penca. Rodrigues (2018) relatou que o híbrido BRS Zamir, o qual é enriquecido com licopeno, apresentou bom desempenho até mesmo no cultivo orgânico, por apresentar pencas grandes e com sanidade adequada.

Quanto à comercialização, os tomates *Sweet Grape* podem ser vendidos a granel, ou seja, sem marca de identificação ou contagem de unidades, ou em embalagens fracionadas de 180, 250 e 350 gramas, por exemplo.

Tabela 1. Cultivares disponíveis do tomate tipo *Sweet Grape* (Fonte: adaptado de Lucidarme, 2018).

Cultivar	Clima aceito	Resistências e tolerâncias	Sistema de produção e destaques para o mercado	Produção	Observações
Sweet Heaven	Rústico, mas recomendado em estufa	Fusário (Fol raça 1) e ToMV (Tm1) e <i>Stemphylium solani</i> (Ss)	Estufa e campo, cultivo orgânico e diferenciado, boa rusticidade, longa vida	Alta, começa colheita com 90 dias após semeio (DAS), frutos de 15 g	Cultivar líder do mercado, precisa ter escoamento adequado
Mascot F1	Cultivar delicado, temperatura controlada e pouca umidade	Fol, TMV e Va/Vd	Estufa, fruto de qualidade (sabor e uniformidade) e boa firmeza (viabiliza transporte). Ciclo precoce, pouca brotação (menos mão de obra)	Bom rendimento, valor agregado na qualidade e no sabor do fruto, começa com 100 DAS, frutos de 18 g	Bom para atingir mercados diferenciados, alto °Brix
Sungrape F1	Cultivar delicado, temperatura controlada e pouca umidade	Fol e TMV	Estufa, fruto exclusivamente para mercados diferenciados procurando coloração laranja	Vigorosa, uniforme, bom potencial produtivo e longa vida de colheita e de prateleira. Começa com 100 DAS, frutos de 22 g	Cultivar necessitando um mercado muito específico, porém com alto potencial de lucro
Canarinho	Temperaturas amenas, baixa umidade	ToMV	Pouco resistente, é indicado para estufa climatizada, procurando alto padrão de qualidade	Colheita estendida, fruto de alta qualidade de cor, sabor e firmeza, ciclo entre 110 e 140 DAS, fruto entre 18 e 23 g	Bom para atingir mercados diferenciados, alto °Brix
Cupido	Cultivar delicado, temperatura controlada e pouca umidade	Intermediária: Ma, Mi, Mj. Alta: TMV raça 0, 1, 2, Fol 1, 2, 3, Va/Vd raça 1	Cultivar feito para ambiente protegido com fruto de qualidade e diferenciado	Pencas prolíficas, ciclo de 75 a 80 dias após transplante, frutos de 12 a 15 g	Bom para atingir mercados diferenciados, alto °Brix e sabor
DSC 2015	Cultivar delicado, temperatura controlada e pouca umidade	Intermediária: Pst raça 0. Alta: TMV raça 1, 2, 3, As, FF raça A-E, Fol 1 e 2	Cultivar feito para ambiente protegido com fruto de qualidade e diferenciado, sabor muito doce	Produção de muitas pencas (alta taxa de bifurcação) e de frutos muito doces de 14 a 16 g	Destaque na doçura do produto (°Brix até 8,5), fruto fácil de agregar valor (embalagem, porção menor...)
Santawest	Cultivar delicado, temperatura controlada e pouca umidade	Intermediária: TYLCV. Alta: Fol	Cultivar feito para ambiente protegido com fruto de qualidade, mas poucas resistências, diminuindo o preço da muda	Alta produtividade e produção contínua. Frutos de 15 a 20 g	Produto diferenciado, mas simples. Bom para atingir mercados específicos sem investir muito na semente
Smarty	Cultivar delicado, temperatura controlada e pouca umidade	Alta: Va/Vd raça 0, Fo 1	Cultivar com pouca resistência e provável baixo preço, feito para ambiente protegido e mercados diferenciados	Pegamento bom e pencas ramificadas, frutos entre 15 a 20 g	Bom para mercados diferenciados e menor investimento
Dolcetini	Temperaturas amenas, baixa umidade	Intermediária: TYLCV. Alta: Fol1, ToMV	Fruto com boa pós colheita, sabor e uniformidade, relativa rusticidade	Alto pegamento, segura produção no tempo, frutos de 18 g	Bom para mercados diferenciados e menor investimento
Tomini	Cultivar delicado, temperatura controlada e pouca umidade	Va/Vd, Fol, TSWV	Cultivo protegido, produto de qualidade podendo agregar muito valor, destaque no sabor	Produtividade alta, qualidade alta (sabor, °Brix, aparência), colheita com 110 a 115 dias, frutos de 10 a 20 g	Cultivar de boa qualidade com características apreciadas pelo mercado
Riesling	Ano inteiro, calor	Pst, ToMV, Ma, Mi, Mj	Planto em estufa, aguenta calor extremo, com precocidade e uniformidade, permitindo colheita prolongada	Boa uniformidade ao longo da colheita, pegamento e formação precoce de penca, frutos de 12 a 15 g	Fruto para mercado diferenciado, adaptado a lugares quentes, °Brix entre 8 e 11
BRS Zamir	Baixa umidade	Tolerância a TYLCV, Fol 1 e 2, Vd raça 1, Ss e oídio	Recomendado em estufa, mas pode se adaptar em campo em condições secas, nova geração enriquecidos em licopeno	8 kg/planta em estufa, excelente pós colheita (15 dias), frutos de 10 a 15 g	Cuidado com rachaduras (adubação de K e irrigação), fruto bom para saúde, °Brix até 11

1.3. Teor de umidade

Quando consumidos *in natura*, os frutos que apresentam maior teor de umidade são os mais suculentos e, portanto, mais apreciados pelo consumidor (VALIM, 2017). O tomate, por sua vez, apresenta em média de 91 a 95% de umidade, conforme relatado por NEPA/UNICAMP (2011), Vieira (2016) e Souza *et al.* (2018).

A quantidade de água e de açúcar presente em alimento é considerada um dos parâmetros físico-químicos mais importantes, pois reflete o teor de sólidos e perecibilidade (PITA, 2012), o que torna o tomate fruto altamente perecível. Durante amadurecimento, ocorre degradação da parede celular e, conseqüentemente, perda da umidade, ocasionando perda da firmeza do tomate (SARMENTO *et al.*, 2015). Portanto, quantificar o teor de umidade torna-se necessário para avaliar se os frutos apresentam características comerciais e indicar a qualidade do mesmo.

O procedimento de referência para determinação do teor de umidade baseia-se na técnica gravimétrica, na qual a quantidade de água é determinada por meio da diferença de peso entre o alimento úmido e seco até peso constante (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). Este processo é o mais utilizado devido à simplicidade e baixo custo, porém é tedioso e moroso.

Segundo Instituto Adolfo Lutz (2008), quando há decomposição ou transformações das amostras à 105°C, deve-se submeter as mesmas à aquecimento em estufas à vácuo, onde se reduz a pressão e se mantém a temperatura a 70°C. Ou ainda, quando outras substâncias voláteis estão presentes, a umidade deverá ser determinada através de destilação com líquidos imiscíveis. Ainda há os métodos baseados em reações que ocorrem na presença de água, como o método de Karl Fischer, que baseia-se na redução de iodo pelo dióxido de enxofre na presença de água. Assim, excluindo a influência da umidade do ar por meio de aparelho específico e considerando a reação entre a água e a solução de dióxido de enxofre, iodo e reagente orgânico, tem-se condições favoráveis para titulação e determinação do ponto final.

A Tabela 2 apresenta os métodos descritos pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), a classificação, indicação e referências bibliográficas dessas metodologias. Nesta tabela, a classificação se dá em gravimétrico, titulométrico ou refratométrico. Os dois primeiros são considerados métodos clássicos, ou seja, quantitativos, visto que medem a massa do analito ou do componente de interesse e medem o volume da

solução contendo reagente em quantidade suficiente para reagir com todo analito presente, respectivamente. A refratometria é considerada método instrumental, o qual quantifica e identifica componentes minoritários, e baseia-se na refração de radiação (PASSOS, 2011).

Tabela 2. Metodologias para determinação do teor de umidade (Fonte: adaptado de Instituto Adolfo Lutz, 2008).

Metodologia	Classificação da metodologia	Indicação	Referências bibliográficas
Secagem direta em estufa a 105°C	Gravimétrico	Procedimento mais usual, englobando óleos e gorduras, e sal	Instituto Adolfo Lutz (1985, p. 21-22)
Secagem em estufa à vácuo (70°C)	Gravimétrico	Indicado para amostras que sofrem decomposição ou transformações à 105°C, por exemplo frutas secas	Association Of Official Analytical Chemists (1996)
Determinação da umidade por secagem à pressão atmosférica (105°C)	Gravimétrico	Aplicável para os diversos tipos de açúcares, inclusive rapadura	Icumsa (1994), Associação Brasileira De Normas Técnicas (1985), Association Of Official Analytical Chemists (1995, p. 2)
Determinação de umidade a 130°C	Gravimétrico	Indicado para farinhas e produtos similares	Instituto Adolfo Lutz (1985, p. 125)
Determinação pelo método de Karl Fischer	Titulométrico	Método baseado em reações que ocorrem na presença de água, no entanto, a amostra não deve reagir com os componentes do reagente de Karl Fischer ou com o iodeto de hidrogênio formado durante a reação com a água	Instituto Adolfo Lutz (1985, p. 23-25), Mendham, Denney, Barnes (2005), Committee On Food Chemicals Codex (1996)
Determinação da umidade por refratometria	Refratometria	Aplicável na determinação de umidade em mel e também em xaropes	Association Of Official Analytical Chemists (1995, p. 20-21), Bogdanov, Martin, Lullman (1997), Instituto Adolfo Lutz (1985, p. 160)

Souza *et al.* (2002) avaliaram a determinação de umidade em solos e plantas a partir do forno de microondas doméstico em comparação ao método gravimétrico convencional. Os resultados foram satisfatórios e vantajosos, visto que o tempo necessário para obtenção dos resultados reduziu de 12 até 72 horas para 10 ou 14 minutos, diminuindo, conseqüentemente, o consumo de energia.

Há ainda a quantificação do teor de umidade por radiação infravermelha. De acordo com Isengard (1995), esse método baseia-se na utilização de uma lâmpada de radiação infravermelha (250 a 500 watts), cujo filamento pode atingir até 700°C.

As vantagens desse procedimento é redução do tempo de análise, baixo consumo de energia e não necessita de contato direto com a amostra, no entanto, é possível analisar apenas uma amostra por vez, o que pode prejudicar a repetibilidade do método.

Garcia-Amoedo e Almeida-Muradian (2020) compararam diferentes metodologias para determinação de umidade em geleia real, sendo elas: estufa à vácuo regulada para 60 e 70°C; estufa convencional regulada para 105°C; em ambiente de baixa atividade de água, utilizando dessecador com ácido sulfúrico; e por secagem sob infravermelho, ajustando a intensidade da radiação de modo que a amostra atingisse 105°C em um curto intervalo de tempo. Em todas as metodologias avaliadas, submeteu-se para análise aproximadamente 1,0 grama.

Os autores puderam concluir que, de maneira geral, nos métodos que empregam calor, os teores de umidade são maiores se comparados aos demais procedimentos avaliados, há perda de compostos voláteis e escurecimento da amostra pela ocorrência de outras reações, como Reação de Maillard. Além disso, o método que emprega ambiente de baixa atividade de água utilizando dessecador de ácido sulfúrico e o método por infravermelho apresentaram resultados satisfatórios estatisticamente e suas aplicações têm como vantagem baixo custo, aparelhagem simples e rapidez (GARCIA-AMOEDO; ALMEIDA-MURADIAN, 2002).

1.4. Química Verde e Química Analítica Verde

O processo de industrialização provocou rápido e acelerado crescimento da população, o que levou, conseqüentemente, ao aumento do uso de reagentes tóxicos, da geração de resíduos e da poluição, ocasionando o esgotamento dos recursos naturais. Diante deste cenário, diversas conferências mundiais ocorreram desde 1968, promovendo conscientização acerca dos efeitos da química ao ambiente. Essa perspectiva permitiu que surgisse o conceito de "Química Responsável", "Química Sustentável" ou "Química Verde", o qual preconizava química mais sustentável, nos quais os riscos fossem minimizados e torna-se os métodos analíticos mais ambientalmente amigáveis (ANASTAS E EGBALI, 2010; OLIVEIRA, 2012).

Esse conceito é multidimensional e engloba responsabilidade química, ecológica e social, visto que é um conjunto de ações e atitudes que objetiva o desenvolvimento sustentável e ecologicamente correto das ações científicas e dos

processos industriais, que reduzem ou eliminem o uso de substâncias nocivas ao homem e ao meio ambiente (SOUSA-AGUIAR *et al.*, 2014; IVANKOVIĆ *et al.*, 2017).

Maneira quantitativa de medir se a indústria segue os princípios da Química Verde é aplicar o fator de eficiência (Fator E), o qual é calculado dividindo a massa dos resíduos gerados (kg) pela massa do produto acabado (kg). Esse fator foi proposto por Roger Sheldon em 1997 e indica que, quanto maior esse valor, menor é a eficiência (maior é a produção de resíduos) (MARCO *et al.*, 2019).

Assim, em 1998, Paul Anastas e John Warner propuseram os 12 princípios que nortearam esse conceito (MARCO *et al.*, 2019). Sabe-se que não é possível atender a todos esses requisitos, mas deve-se tentar aplicar o máximo de princípios possíveis (Figura 4). No entanto, algumas tendências são dominantes, sendo elas: obtenção de resultados seletivos a partir de compostos puros e matérias-primas renováveis, que não geram subprodutos tóxicos, sejam mais compatíveis com o ecossistema e economizem energia; e caso algum resíduo seja gerado, que este seja tratado e purificado mais eficientemente (JUKIĆ *et al.*, 2005).

Figura 4. Os 12 princípios da Química Verde propostos por Anastas e Warner em 1998 (Fonte: adaptado de Marco *et al.*, 2019).

No Brasil, as principais áreas focos de desenvolvimento da Química Verde são: biorrefinarias; indústrias alcoolquímica, oleoquímica, sucroquímica e fitoquímica; conversão de CO₂; bioprodutos, bioprocessos e biocombustíveis; e energias alternativas. Têm-se também como temas secundários a catálise, modelagem e escalonamento de processos (CGEE, 2010).

O desenvolvimento de metodologias alternativas, visando o menor uso de solventes e geração de resíduos, é a área mais estudada na Química Verde, devido a isso, em 2013, Galuszka, Migaszewski e Namiński adaptaram os 12 princípios para a Química Analítica Verde (GALUSZKA *et al.*, 2013).

A Tabela 3 compara os princípios da Química Verde e da Química Analítica Verde e evidencia que os princípios adaptados destacavam a economia de energia, minimização do uso de substâncias químicas e, conseqüentemente, dos resíduos gerados (ou melhor tratamento), e segurança dos analistas.

Tabela 3. Comparação entre os 12 princípios da Química Verde e da Química Analítica Verde (Fonte: adaptado de Marco *et al.*, 2019).

Princípios da Química Verde	Princípios da Química Analítica Verde
Prevenção	Técnicas analíticas diretas
Economia atômica	Amostragem menor
Síntese química mais segura	Análises <i>in situ</i>
Projetos químicos mais seguros	Integração de processos
Uso de solventes e auxiliares mais seguros	Métodos automatizados e miniaturizados
Eficiência energética	Evitar derivatizações
Uso de matérias-primas renováveis	Evitar formação de resíduos ou tratá-los adequadamente
Redução de derivados	Métodos multi analíticos
Catálise	Economia de energia elétrica
Projetos para produtos de degradação	Reagentes obtidos de fontes renováveis
Análise em tempo real para prevenção da poluição	Reagentes perigosos devem ser descartados
Prevenção de acidentes	Preconizar a segurança dos analistas

Oliveira (2012) pesquisou os termos "Química Verde" e "Química Analítica Verde" na base de dados *Web of Science* durante o período entre 1990 - 2009, relatando o progresso da produção científica acerca destes temas. O resultado pode ser observado na Figura 5 e evidencia que as instituições de ensino e pesquisa estão aprofundando as buscas no desenvolvimento de metodologias alternativas e que sejam ecologicamente corretas, sustentáveis e limpas.

Figura 5. Evolução da produção científica dos temas Química Verde e Química Analítica Verde (Fonte: Oliveira, 2012).

1.5. Imagens digitais

Visando reduzir o uso de equipamentos, minimizar o consumo de energia elétrica e miniaturizar a metodologia, as imagens digitais vêm sendo adotadas e obtidas por meio da leitura de reflectância em aplicativo livre de celular, como o *Color Grab®*, o qual é capaz de detectar o sistema de cores aditivas do formato RGB.

O sistema RGB é comumente utilizado em equipamentos eletrônicos, como televisões, computadores e câmeras digitais. Baseado em coordenadas cartesianas, pode ser representado pela imagem geométrica de um cubo, em que cada cor primária é representada por três eixos que são perpendiculares uns aos outros, originando-se no ponto zero de intensidade de seus eixos correspondentes, conforme Figura 6 (GONZALES *et al.*, 2000; CORRÊA *et al.*, 2014).

Figura 6. Representação esquemática do cubo de cores do sistema RGB (Fonte: Corrêa *et al.*, 2014).

Quando os três eixos apresentam máxima intensidade, ou seja, 255, 255, 255, a cor expressa é branca. Quando apresentam a mínima intensidade (0, 0, 0), a cor aparente é preta. A Figura 7 apresenta o círculo cromático do sistema RGB com as cores primárias e o resultado da mistura (CORRÊA *et al.*, 2014).

Figura 7. Círculo cromático do sistema RGB (Fonte: Corrêa *et al.*, 2014).

A metodologia que utiliza a leitura por imagens digitais baseia-se na reflectância, ou seja, a luz refletida de cada ponto constitui a radiação incidente menos a radiação absorvida. Assim, a radiação refletida é uma medida indireta da radiação absorvida que pode ser correlacionada com a concentração do analito (SANTOS *et al.*, 2019).

As imagens digitais têm sido exploradas na análise de alimentos em diversos segmentos, como quantificar micro e macronutrientes, determinar a qualidade, detectar adulteração e monitorar a cor de produtos alimentícios. Cruz-Fernández *et al.* (2017) desenvolveram método direto para determinar o conteúdo de gorduras em produtos cárneos, como salchichón, salame e presunto curado, com auxílio das imagens digitais obtidas pela leitura em *smartphone*, correlacionando-os com os teores obtidos pela extração por *Soxhlet*, metodologia de referência para essa análise. A correlação entre o teor de gordura e a cor levou em consideração as coordenadas tricolor (RGB), pares de coordenadas (RG, RB e GB) e as coordenadas únicas (R, G ou B). Os dados foram tratados a partir de dois modelos, a Regressão por Quadrados Mínimos Parciais (em inglês, *Partial Least Square* – PLS) e Máquina de Suporte Vetorial (em inglês, *Support Vector Machine* – SVM). Os

resultados indicaram que o método desenvolvido foi fácil, econômico, ecológico, portátil, não destrutivo e rápido com erros relativos em torno de 20%.

Santos *et al.* (2019) utilizaram imagens digitais para determinar ácido ascórbico (vitamina C) em frutas nativas e exóticas da Amazônia, como bacuri, caju, cupuaçu, manga, muruci, laranja, maracujá e cajá amarelo, e compararam os resultados obtidos com o método titulométrico de referência. A determinação baseou-se na redução de Fe(III) a Fe(II) por ácido ascórbico, que forma complexo de cor vermelha com ortofenantrolina. Teste t pareado de *Student* com nível de confiança de 95% foi aplicado para validar os resultados estatisticamente e, como o valor calculado (1,28) foi menor que o tabelado (2,78), foi concluído que não houve diferença significativa entre as concentrações calculadas por ambos os métodos. Vantagens apresentadas foram economia; ecologicamente correto; portátil e, conseqüentemente, útil e eficiente para pequenos produtores que não possuem recursos para análises. Além disso, redução do volume de reagente em mais de 83 vezes quando comparado ao método convencional (50 mL/titulação *versus* 600 µL/análise).

Silva e Rocha (2020) fizeram uso das imagens digitais para detectar a adulteração do leite com base no conteúdo de proteína. O procedimento proposto foi baseado na precipitação das proteínas do leite pelo efeito *salting-out* com sulfato de cobre e medição da concentração de cobre(II) remanescente no soro de leite após complexação com ácido etilenodiaminotetracético (EDTA). A intensidade da cor azul medida através da leitura por imagens digitais foi inversamente proporcional ao conteúdo de proteína na amostra, indicando possivelmente adulteração do leite. O método proposto foi rápido, preciso, ecologicamente correto e permitiu a quantificação de até 1,0% (v/v) de água em leite adulterado, não sofrendo interferência das principais espécies utilizadas para mascarar o teor de proteína, além de corroborar com os resultados obtidos pela espectroscopia no infravermelho próximo (metodologia de referência) com 95% de nível de confiança.

Franco *et al.* (2021) propuseram método para determinação colorimétrica de açúcares redutores em cachaça a partir de imagens digitais utilizando *smartphone* como detector. O método foi baseado na redução de óxido de cobre a iodeto de cobre pelos açúcares, seguido da formação de complexo colorido de Cu(I)-neocuproína. As cachaças não envelhecidas, conhecidas por sabores e aromas inferiores, apresentaram teor de açúcares redutores três vezes maior que as

cachaças envelhecidas, o que está de acordo com a adição de açúcar na bebida para ajustar o sensorial no produto final. Os resultados obtidos foram comparados com o método de referência (titulação) por meio do teste t pareado de *Student* com 95% de confiança. O valor calculado (2,35) foi menor que o valor tabelado (2,59), ou seja, não houve diferença significativa entre os procedimentos com 95% de confiança. A metodologia proposta pode ser utilizada para verificar possíveis fraudes, adulterações ou não conformidades com a legislação pertinente, além de ser simples, utilizar menos volume dos reagentes e não necessitar de conhecimentos técnicos complexos.

Diante do exposto, se faz necessário e fundamental, o desenvolvimento de procedimento alternativo limpo, confiável e não tedioso, que permita a determinação do teor de umidade em tomates *Sweet Grape* e que atenda os princípios da Química Analítica Verde.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Aquisição e preparo da matéria-prima

Os frutos de tomates *Sweet Grape* foram adquiridos em diferentes comércios de Piracicaba - São Paulo, totalizando dez amostras. Em seguida, os tomates foram selecionados de forma a obter amostras com características similares: frutos sadios; tamanho e coloração uniformes; livres de danos mecânicos, pragas e doenças; e higienizados.

Para o preparo da amostra, a mesma foi avaliada quanto aos seus diferentes estados: a) *in natura*, triturada em liquidificador (Britânia, modelo Diamante 800) ou processador (Walita, modelo HL 3253), b) congelada em refrigerador combinado (Electrolux, modelo TF51), c) congelada a -80°C (Coldlab, modelo CL580-86V) e d) congelada em nitrogênio líquido e posteriormente triturada em moinho criogênico (Freezer Mill, modelo 6870 Spex).

Além disso, diferentes equipamentos foram utilizados no processo de agitação das amostras, como banho de ultrassom (Ultra Cleaner, modelo 1450), aparelho de vórtex (Scientific Industries, modelo SI-0266 Vórtex-Genie 2) e mesa agitadora (Quimis, modelo Q225M).

As medidas dos sinais de reflectância foram obtidas por meio de imagens digitais, com auxílio do aplicativo de celular de livre acesso *Color Grab*® (Figura 8). A cor refletida pela solução foi azul, a cor complementar varia do amarelo ao vermelho e o canal mais adequado para aquisição de dados foi o R (*Red* – Vermelho).

Figura 8. Interface do aplicativo de celular *Color Grab*® (Fonte: Autor, 2019).

Como suporte foi empregada caixa de isopor com 16, 10 e 14 cm de altura, largura e profundidade, respectivamente. A entrada para microtubo *Eppendorf*® de 1,5 mL pela parte superior e abertura lateral de tamanho suficiente para adequar câmera e lanterna do *smartphone* (*Samsung Galaxy S7 Edge*, câmera de 12 MP, *Android* 8.0.0, abertura focal $f/1,7$) foram ajustadas, conforme Figura 9. Os tubos foram posicionados de forma que as leituras fossem realizadas em ângulo perpendicular. O aplicativo empregado nas medidas RGB foi o *Color Grab*® (versão 3.6.1, *Loomatix*®), disponível gratuitamente na *Play Store* para *Android*. O controle da iluminação foi realizado utilizando lâmpada de LED de saída de emergência (Elgin, 2 W).

Figura 9. A) Vista frontal e B) lateral do suporte para o celular (Fonte: Autor, 2020).

Espectrofotômetro UV-Vis (Agilent, modelo Cary 60), equipado com cubeta de acrílico de volume reduzido (1 cm) foi empregado para as medidas espectrofotométricas. O *software* Cary WinUV® foi utilizado para aquisição de dados.

2.2.Reagentes e soluções

Todas as soluções foram preparadas com reagentes de grau analítico.

Solução estoque de água foi preparada em balão volumétrico de 50 mL a partir de 2412 μL de água deionizada ($18 \mu\text{S cm}^{-1}$) (Merck, modelo Synergy® Ultrapure (Type 1) Water) em etanol anidro (Merck, *Ethanol Absolute for Analysis*).

Solução de cloreto de cobalto (CoCl_2) (Sigma-Aldrich, *Cobalt(II) Chloride*) $0,008230 \text{ mol L}^{-1}$ foi preparada a partir de $0,1069 \text{ g}$ de cloreto de cobalto em etanol anidro.

2.3.Determinação do teor de umidade

2.3.1. Procedimento de referência

A umidade foi determinada de acordo com a metodologia sugerida pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC) (2005), a qual se baseia na técnica gravimétrica com emprego do calor em estufa ventilada à temperatura de 105°C até peso constante.

Cadinho de porcelana previamente seco em estufa a 105°C e $1,00 \text{ grama}$ do tomate *in natura* homogeneizado em liquidificador foram pesados em balança analítica, após foi submetido a estufa ventilada (Fanem, modelo Retilínea) à temperatura de 105°C por 8 horas. Após, o cadinho de porcelana foi colocado em dessecador até atingir temperatura ambiente, pesado novamente e a diferença obtida correspondeu à umidade a 105°C . Esse procedimento foi realizado em triplicata.

A pesagem do cadinho de porcelana foi realizada há cada 2 horas até completar 8 horas e comparada com o peso do cadinho após 8 horas seguidas na estufa. Como não houve diferença significativa, o presente trabalho foi realizado submetendo o cadinho à estufa ventilada a 105°C por 8 horas seguidas.

2.3.2. Procedimento proposto

Em microtubo *Eppendorf*® foi pesado $0,01 \text{ grama}$ de tomate *in natura* homogeneizado em liquidificador, adicionado $900 \mu\text{L}$ da solução de cloreto de cobalto $0,008230 \text{ mol L}^{-1}$ e $400 \mu\text{L}$ de etanol anidro. O microtubo ficou sob agitação na mesa com movimentos orbitais por 5 minutos a 200 rpm . Posteriormente, foi realizada leitura pelo aplicativo de celular *Color Grab*®. Esse procedimento foi realizado em triplicata.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de umidade foi quantificado por meio da reação com cloreto de cobalto. Quando hidratado, o cloreto de cobalto apresenta coloração rósea devido à formação do hexaaquocobalto(II) ($[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$), os quais, quando desidratados, formam o íon tetraédrico ($[\text{CoCl}_4]^{2-}$), cuja coloração é azul com máxima absorção de radiação em $\lambda = 692 \text{ nm}$ (SADER, 2002; PEREIRA *et al.*, 2015). A reação é reversível e está representada na equação abaixo (Figura 10).

Figura 10. Reação do cloreto de cobalto na presença de água (Fonte: Sader, 2002).

Na Figura 11 são apresentados os espectros de absorção do cloreto de cobalto na presença de água (A) e em etanol anidro (B). O etanol anidro foi escolhido, visto que, a Química Verde preconiza a segurança ambiental e do analista, sustentabilidade do processo e o solvente, por sua vez, deve ser química e fisicamente estável, apresentar baixa volatilidade e ser fácil de manusear (IVANKOVIĆ *et al.*, 2017).

Figura 11. Espectros de absorção do cloreto de cobalto A) na presença de água ($\lambda = 511 \text{ nm}$) e B) em etanol anidro ($\lambda = 657 \text{ nm}$).

A cor refletida pela solução foi azul, a cor complementar varia do amarelo ao vermelho e o canal mais adequado para aquisição de dados foi o R (Red – Vermelho). As leituras por imagens digitais foram baseadas na descoloração do cloreto de cobalto. A intensidade da cor no meio está relacionada com a

concentração de água na amostra, sendo que o dado analítico foi mensurado a partir do princípio de reflectância. Estes tipos de medida exploram a relação entre a proporção de radiação eletromagnética incidente na amostra e aquela que foi refletida.

Para cálculo da reflectância e posterior construção da curva de calibração, foi considerado o valor encontrado para a cor vermelho (R) subtraindo de 255, prosseguindo desta maneira para cada ponto da curva e também das amostras.

A concentração de cloreto de cobalto foi ajustada de acordo com Pereira *et al.* (2015) e as características analíticas foram obtidas para o descoloramento da reação, sendo estimados o limite de detecção e o coeficiente de variação em 0,005 mol L⁻¹ água e 2,45% (n = 10), respectivamente. O limite de detecção foi estimado considerando o Caso 1 do teste t pareado de *Student*, ou seja, comparando a média do valor medido com a média do valor conhecido (branco) e reduzindo a quantidade de água (mol H₂O L⁻¹) até que fosse possível identificar o menor ponto no qual esses valores diferiram significativamente com nível de confiança de 95%.

A curva de calibração apresentou resposta linear até 0,75 mol L⁻¹ de água, descrita pela equação: Sinal analítico = 2,05 + 4705 C (mol L⁻¹), R² = 0,996. Além disso, para cada determinação foi empregado 1,3 mL de etanol anidro e aproximadamente 1,0 mg de cloreto de cobalto.

A leitura da curva de calibração por imagens digitais foi realizada em dois *smartphones* com aberturas focais diferentes para comparação. A abertura focal está diretamente relacionada com a profundidade e quantidade de luz que sensibiliza o sensor (RODRIGUES, 2009), portanto, quanto menor o número, maior a abertura e, conseqüentemente, maior a capacidade de captar luz. As leituras foram realizadas em *smartphones* com *f*/1,7 (*Samsung S7 Edge*) e *f*/2,0 (*Motorola Moto G5s*) e os resultados obtidos são apresentados na Figura 12.

Figura 12. Curva de calibração por imagens digitais em *smartphones* com aberturas focais diferentes.

Respostas lineares foram obtidas e descritas pelas equações da reta: Sinal analítico = $3,47 + 5392 C$ (H_2O mol L^{-1}), $R^2 = 0,990$ e Sinal analítico = $1,70 + 5977 C$ (H_2O mol L^{-1}), $R^2 = 0,998$, respectivamente para *smartphones* com $f/1,7$ e $f/2,0$. Comparando os coeficientes angulares das curvas de calibração pelo cálculo da razão, não foram obtidas diferenças significativas independente do *smartphone* utilizado.

3.1.Preparo da amostra

A homogeneização da amostra é parâmetro fundamental no preparo da mesma, desta forma foram avaliadas diferentes maneiras de preparo:

- (i) Congelador doméstico convencional, seguido de homogeneização em liquidificador doméstico convencional;
- (ii) Congelamento em freezer a $-80^{\circ}C$, seguido de homogeneização em liquidificador doméstico convencional;
- (iii) Moagem em moinho criogênico, 5 minutos de pré-congelamento seguido de cinco ciclos de 2 minutos/cada para moagem, intercalando com 1 minuto de pausa entre os ciclos.

Resposta linear foi obtida até $0,75$ mol L^{-1} de água e curva de calibração construída com $CoCl_2$ $0,1852$ mol L^{-1} , descrita pela equação: Sinal analítico = $0,0250$

+ 3,24 C (H_2O , mol L^{-1}), $R^2 = 0,990$. Os resultados foram expressos em média $\pm$ desvio padrão dos teores de umidade (%) (Tabela 4).

Tabela 4. Teor de umidade obtido com diferentes procedimentos de congelamento.

Procedimento de congelamento	Teor de umidade (%)
Congelador convencional (i)	107,67 $\pm$ 7,48
Freezer -80°C (ii)	102,63 $\pm$ 8,65
Moinho criogênico (iii)	112,28 $\pm$ 9,54

A partir da Tabela 4, resultados de teor de umidade foram observados entre 102 e 113%, independente do procedimento de congelamento avaliado. Possivelmente, o congelamento agregou maior quantidade de água à amostra, superestimando o teor de umidade.

Diante disso, objetivando simplificar e reduzir o uso de equipamentos e processos no procedimento alternativo proposto, foi avaliada a amostra *in natura* homogeneizada em liquidificador e processador, seguida de agitação em diferentes equipamentos, como vórtex, mesa agitadora a 200 rpm e ultrassom, por 1, 5 e 10 minutos.

Resposta linear foi obtida até 0,75 mol L^{-1} de água e curva de calibração construída com CoCl_2 0,1852 mol L^{-1} , descrita pela equação: Sinal analítico = 0,0124 + 3,17 C (H_2O , mol L^{-1}), $R^2 = 0,991$. Os resultados foram expressos em média $\pm$ desvio padrão dos teores de umidade (%) (Tabela 5).

Tabela 5. Teor de umidade obtido no preparo da amostra *in natura*.

Homogeneização	Agitação	Teor de umidade (%)		
		Tempo de agitação (min)		
		1	5	10
Liquidificador	Vórtex	73,07 $\pm$ 2,73	96,96 $\pm$ 6,97	85,99 $\pm$ 0,59
	Mesa agitadora	87,00 $\pm$ 4,78	91,99 $\pm$ 3,39	87,90 $\pm$ 1,99
	Ultrassom	86,62 $\pm$ 2,75	113,22 $\pm$ 57,44	87,75 $\pm$ 3,95
Processador	Vórtex	117,41 $\pm$ 63,59	133,18 $\pm$ 2,36	108,04 $\pm$ 7,83
	Mesa agitadora	93,78 $\pm$ 10,51	103,40 $\pm$ 7,39	95,85 $\pm$ 5,07
	Ultrassom	80,84 $\pm$ 4,12	158,86 $\pm$ 6,26	97,11 $\pm$ 10,89

No preparo da amostra *in natura*, teores de umidade foram observados entre 73 – 113% e 80 – 158% (Tabela 5) quando utilizado liquidificador e processador na homogeneização, respectivamente. Além de apresentar resultados coesos, as análises empregando liquidificador foram as que obtiveram menores desvios padrão. Entre os procedimentos e tempos de agitação estudados, a mesa com movimentos orbitais por 5 minutos a 200 rpm apresentou 92% de umidade, o que está de acordo com o esperado para o fruto tomate na literatura.

De acordo com os resultados obtidos no preparo da amostra *in natura*, emprego de equipamentos simples e menor tempo para obtenção dos resultados, os estudos subsequentes foram realizados após homogeneização em liquidificador, seguido de agitação em mesa orbital a 200 rpm por 5 minutos.

3.2. Quantificação do teor de umidade

Visando minimizar o uso de equipamentos e simplificar o procedimento desenvolvido, foi avaliado o emprego de imagens digitais para quantificação do teor de umidade. O estudo foi realizado no preparo da amostra *in natura* com liquidificador e agitação manual ou em mesa orbital a 200 rpm por 5 minutos e comparados com medidas espectrofotométricas em 657 nm.

Respostas lineares foram obtidas até $0,75 \text{ mol L}^{-1}$ de água e curvas de calibração construídas com CoCl_2 $0,1852 \text{ mol L}^{-1}$, descritas pelas equações: Sinal analítico = $0,00810 + 31,3 \text{ C (H}_2\text{O, mol L}^{-1})$, $R^2 = 0,997$ e Sinal analítico = $-5,53 + 8004 \text{ C (H}_2\text{O, mol L}^{-1})$, $R^2 = 0,994$, respectivamente com medidas no espectrofotômetro e imagens digitais. Os resultados foram expressos em média $\pm$ desvio padrão dos teores de umidade (%) (Tabela 6).

Tabela 6. Teor de umidade obtido com leitura espectrofotométrica ou imagens digitais, comparando agitação manual e mesa orbital.

Leitura	Teor de umidade (%)	
	Método de agitação	
	Manual	Mesa orbital
Espectrofotômetro	$74,60 \pm 11,48$	$83,47 \pm 17,10$
Imagem digital	$75,90 \pm 12,96$	$88,80 \pm 12,50$

Com o emprego da agitação manual, os teores de umidade encontrados foram abaixo do esperado para o tomate (< 80%), não sendo suficiente para liberar água (Tabela 6).

Empregando a mesa orbital a 200 rpm por 5 minutos foi comparado o teor de umidade obtido para 10 amostras de tomate com leituras espectrofotométricas e por imagens digitais. O teste t pareado de *Student* foi aplicado e os resultados são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Teste t pareado de *Student* em 10 amostras de tomate comparando o teor de umidade com leituras espectrofotométricas e por imagens digitais.

Amostra	Teor de umidade (%)		Diferença
	Método 1 (Espectrofotômetro)	Método 2 (Imagens digitais)	
1	89,57	97,77	-8,20
2	77,50	73,82	3,68
3	49,91	73,96	-24,05
4	59,95	99,26	-39,31
5	95,50	88,78	6,72
6	93,53	102,79	-9,26
7	107,30	108,32	-1,02
8	84,22	84,09	0,13
9	86,04	78,51	7,53
10	91,21	80,68	10,53
Média			-5,32
Desvio-padrão			15,71
t calculado			1,07
t tabelado ($\alpha = 0,05$; g.l = 9)			2,262

O t calculado (1,07) foi menor que o t tabelado (2,262) para nível de 95% confiança ($\alpha = 0,05$) e 9 graus de liberdade (Tabela 7). Portanto, os dois resultados não diferem a um nível de 95% de significância, possibilitando que as leituras fossem realizadas por imagens digitais.

Nos resultados dos teores de umidade apresentados na Tabela 7 por leitura no aplicativo de celular *Color Grab*[®] foi empregado o teste Q, a fim de avaliar a rejeição de algum resultado. No entanto, nenhum dos valores foi rejeitado com nível de 95% de confiança (Q calculado < Q tabelado = 0,466).

Os teores de umidade das dez amostras de tomate também foram avaliados e comparados por meio do teste t pareado de *Student* com o procedimento gravimétrico convencional, os resultados estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Teste t pareado de *Student* em 10 amostras de tomate comparando o teor de umidade pelo procedimento convencional (gravimétrico) e por imagens digitais.

Amostra	Teor de umidade (%)		Diferença
	Método 1 (Convencional)	Método 2 (Imagens digitais)	
1	93,10	97,77	-4,67
2	92,80	73,82	18,98
3	92,40	73,96	18,44
4	93,00	99,26	-6,26
5	92,70	88,78	3,92
6	92,60	102,79	-10,19
7	92,50	108,32	-15,82
8	92,80	84,09	8,71
9	92,60	78,51	14,09
10	92,50	80,68	11,82
Média			3,90
Desvio-padrão			12,44
t calculado			0,99
t tabelado ($\alpha = 0,05$; g.l = 9)			2,262

O t calculado (0,99) foi menor que o t tabelado (2,262) para nível de 95% confiança ($\alpha = 0,05$) e 9 graus de liberdade (Tabela 8). Portanto, os resultados não diferem a um nível de 95% de significância, validando, os resultados obtidos no método alternativo proposto baseado no emprego da descoloração do cloreto de cobalto e imagens digitais.

3.3.Quantificação do teor de umidade em amostras comerciais

As amostras comerciais de tomate *Sweet Grape* foram adquiridas no comércio de Piracicaba – São Paulo e numeradas de 1 a 10 no presente trabalho. As amostras 1, 8 e 10 são originárias da venda granel, as amostras 2 e 9 são de cultivo orgânico, e as amostras 3 a 7 são de cultivo convencional. A Tabela 9 apresenta os teores de umidade expressos em média $\pm$ desvio padrão (%) tanto para o método convencional quanto para a leitura por imagens digitais.

Tabela 9. Teor de umidade de 10 amostras comerciais de tomate obtido pelo método convencional (gravimétrico) e pelo método proposto (imagens digitais).

Amostra	Umidade (%)	Média (%)	Umidade (%)	Média (%)
	Método Convencional		Método Proposto (Imagens digitais)	
1	93,30	93,21 ± 0,13	94,16	88,47 ± 5,04
	93,06		84,58	
	93,26		86,66	
2	93,06	93,16 ± 0,09	93,53	88,95 ± 4,22
	93,17		85,22	
	93,24		88,10	
3	93,00	93,04 ± 0,17	85,76	86,99 ± 2,31
	93,23		85,55	
	92,90		89,65	
4	91,02	91,30 ± 0,26	96,82	97,35 ± 0,87
	91,54		96,88	
	91,33		98,36	
5	92,90	92,67 ± 0,22	83,31	86,78 ± 5,06
	92,63		92,59	
	92,47		84,45	
6	92,78	92,70 ± 0,13	94,30	91,66 ± 2,72
	92,77		88,87	
	92,55		91,82	
7	91,93	91,71 ± 0,20	88,32	93,54 ± 4,53
	91,63		96,40	
	91,56		95,89	
8	92,09	92,11 ± 0,16	86,90	93,93 ± 6,21
	92,28		98,66	
	91,97		96,23	
9	94,14	94,09 ± 0,06	91,50	92,85 ± 2,48
	94,09		91,34	
	94,03		95,72	
10	90,95	91,03 ± 0,07	91,34	93,32 ± 2,67
	91,09		92,26	
	91,06		96,36	

Nos resultados dos teores de umidade apresentados na Tabela 9 por leitura no aplicativo de celular *Color Grab®* foi empregado o teste Q, a fim de avaliar a rejeição de algum resultado. No entanto, nenhum dos valores foi rejeitado com nível de 95% de confiança ($Q_{\text{calculado}} < Q_{\text{tabelado}} = 0,466$).

Os teores de umidade das dez amostras comerciais de tomate obtidos pelo procedimento proposto foram avaliados e comparados por meio do teste t pareado

de *Student* com o procedimento gravimétrico convencional, os resultados das médias estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Teste t pareado de *Student* em 10 amostras comerciais de tomate comparando o teor de umidade pelo procedimento convencional (gravimétrico) e por imagens digitais.

Amostra	Teor de umidade (%)		Diferença
	Método 1 (Convencional)	Método 2 (Imagens digitais)	
1	93,21	88,47	-4,74
2	93,16	88,95	-4,21
3	93,04	86,99	-6,06
4	91,30	97,35	6,06
5	92,67	86,78	-5,88
6	92,70	91,66	-1,04
7	91,71	93,54	1,83
8	92,11	93,93	1,82
9	94,09	92,85	-1,24
10	91,03	93,32	2,29
Média			-1,117
Desvio Padrão			4,084
t calculado			0,865
t tabelado ($\alpha = 0,05$; g.l = 9)			2,262

O t calculado (0,865) foi menor que o t tabelado (2,262) para nível de 95% confiança ($\alpha = 0,05$) e 9 graus de liberdade (Tabela 10). Portanto, os resultados não diferem a um nível de 95% de significância.

O teor médio de umidade obtido pelo método proposto (leitura por imagens digitais) variou de 86,78 a 97,35%, enquanto que pelo método convencional, a variação média foi de 91,03 a 94,09%. Originalmente, as amostras apresentavam aspecto líquido-pastoso e coloração laranja-avermelhada. No entanto, após serem submetidas à estufa ventilada a 105°C, as mesmas apresentaram coloração castanho escuro-preto, característica de reações de escurecimento, que provavelmente ocorrem devido aos açúcares, principalmente glicose e frutose, naturalmente presentes no tomate *Sweet Grape* (Figura 13).

Figura 13. Amostras de tomate A) antes e B) após estufa ventilada a 105°C por 8 horas (Fonte: Autor, 2020).

Loro (2015) avaliou o teor de umidade em tomates *Sweet Grape* submetendo-os à estufa a 90-100°C até peso constante e o resultado médio obtido foi de $92,03 \pm 0,35\%$. Valim (2017) obteve teor de umidade médio de $93,92 \pm 0,24\%$ para tomates *Sweet Grape*, após permanecerem em estufa com circulação de ar por 16 horas a 100°C. Vieira *et al.* (2014) compararam os parâmetros de qualidade física e química de mini tomates *Sweet Grape* produzidos em cultivos orgânico e convencional, e observaram que a cultivar produzida em sistema orgânico apresentou maior teor de umidade (93,68%) quando comparado ao sistema convencional (91,47 e 92,94%), após serem submetidas à análise pelo método gravimétrico convencional. Da mesma forma, Souza *et al.* (2018) obteve maior teor de umidade para tomates cultivados em sistema orgânico ao comparar quatro tipos de cultivo/locais de comercialização (orgânico vendido em supermercado, orgânico vendido em feira de alimentos orgânicos, convencional vendido em hortifruti e hidropônico vendido em supermercado).

No presente estudo, o maior teor de umidade observado no método gravimétrico foi de $94,09 \pm 0,06\%$, cuja amostra foi cultivada em sistema orgânico, corroborando com os resultados citados. No entanto, no procedimento proposto (leitura por imagens digitais), o maior teor de umidade encontrado foi de $97,35 \pm 0,87\%$, cuja amostra foi cultivada em sistema convencional. Vale ressaltar que os desvios padrão encontrados são baixos (0,87 a 6,21), considerando que o coeficiente de variação da curva de calibração foi de 2,45%.

Ainda não há estudos publicados que tenham avaliado o teor de umidade em tomates *Sweet Grape* a partir da leitura por imagens digitais. No entanto, diante dos estudos apresentados e dos resultados obtidos, conclui-se que os teores de umidade encontrados no procedimento proposto mostram exatidão frente aos resultados da literatura e não diferem dos valores obtidos a partir do método convencional.

A Tabela 11 apresenta as principais metodologias para determinação de umidade e compara-as quanto às características analíticas, ou seja, quantidade de amostra, tempo necessário, massa ou volume de reagente por determinação, coeficiente de variação, limite de detecção e eco-escala. A eco-escala classifica as metodologias de acordo com os pontos de penalidade, que englobam o perigo físico, ambiental ou para a saúde, energia consumida, risco ocupacional e desperdício de reagentes. Os pontos são subtraídos de 100 e quanto mais próximo desse valor, mais condizente com a Química Verde é a metodologia (GALUSZKA *et al.*, 2012).

A quantidade de amostra e o tempo necessário por determinação nas metodologias apresentadas variam de 0,01 a 15 g e 5 a 900 minutos, respectivamente. A determinação de umidade por descoloração do cloreto de cobalto a partir de imagens digitais necessita de apenas 0,01 g de amostra e 6 minutos por determinação. Quanto ao uso de reagentes, são necessários três para realização da metodologia de Karl Fischer, enquanto que para realização do trabalho em questão, foram necessários apenas dois, etanol e cloreto de cobalto, comumente utilizados, de fácil tratamento e descarte, e não tão tóxicos. De acordo com a eco-escala, para cada pictograma presente na classificação e rotulagem de produtos químicos com base no GHS (em inglês *Global Harmonization System*; em português Sistema Globalmente Harmonizado), pontos de penalidade são atribuídos. Assim, o etanol e cloreto de cobalto são menos penalizados do que os reagentes necessários para determinação por Karl Fischer (tartarato de sódio dihidratado, reagente de Karl Fischer e metanol).

Apesar do trabalho em questão apresentar o segundo menor valor para eco-escala, é a metodologia que requer menor quantidade de amostra por determinação, além de dar o resultado em poucos minutos, consumir menos energia elétrica e utilizar quantidades baixas de reagentes não tão tóxicos e de fácil tratamento.

Tabela 11. Comparação de metodologias para determinação de umidade.

Metodologia	Características da metodologia					Eco-Escala	Referências bibliográficas
	Amostra (g)/ determinação	Tempo de análise (min)/determinação	Massa ou Volume de reagente/determinação	Coeficiente de variação	Limite de detecção (mol L ⁻¹)		
Secagem direta em estufa a 105°C	2,0 a 10	180	-	-	-	98	Instituto Adolfo Lutz (1985, p. 21-22)
Secagem em estufa à vácuo (70°C)	2,0 a 10	360	-	-	-	96	Association Of Official Analytical Chemists (1996)
Determinação da umidade por secagem à pressão atmosférica (105°C)	5,0 a 10	120	-	-	-	98	Icumsa (1994), Associação Brasileira De Normas Técnicas (1985), Association Of Official Analytical Chemists (1995, p. 2)
Determinação de umidade a 130°C	2,0	60	-	-	-	99	Instituto Adolfo Lutz (1985, p. 125)
Determinação pelo método de Karl Fischer	0,01 a 0,08	5	200 mg de tartarato de sódio dihidratado; reagente de Karl Fischer, isento de piridina; metanol com no máximo 0,005% de água	-	0,056	88	Instituto Adolfo Lutz (1985, p. 23-25), Mendham, Denney, Barnes (2005), Committee On Food Chemicals Codex (1996), Murito e Finete (2009)
Determinação da umidade por refratometria	3 a 4 gotas	5	-	-	-	99	Association Of Official Analytical Chemists (1995, p. 20-21), Bogdanov, Martin, Lullman (1997), Instituto Adolfo Lutz (1985, p. 160)
Microondas	15	10	-	< 2%	-	100	Souza <i>et al.</i> (2002)
Radiação com infravermelho	1,0	20	-	-	-	100	Garcia-Amoedo e Almeida-Muradian (2020)
Dessecador com ácido sulfúrico	1,0	900	Ácido sulfúrico suficiente para cobrir o fundo do dessecador até a placa de porcelana	-	-	97	Garcia-Amoedo e Almeida-Muradian (2020)
Descoloração do cloreto de cobalto a partir de imagens digitais	0,01	6	1,3mL etanol e 1,0mg de cloreto de cobalto	2,45%	0,005	91	Este trabalho

4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que o método proposto apresenta exatidão frente ao método gravimétrico para determinação do teor de umidade em tomates *Sweet Grape*. A metodologia proposta apresentou coeficiente de variação igual a 2,45%, o qual é considerado baixo. Além disso, apresenta pontos positivos em relação ao método convencional, como:

- Rapidez, visto que necessita de apenas 1 hora para homogeneização da amostra, preparo das soluções, preparo e leitura da curva de calibração, e preparo e leitura das amostras, enquanto que o método gravimétrico necessita de, no mínimo, 8 horas;
- Economia de energia;
- Não ocasiona a caramelização da amostra;
- Requer baixa quantidade de amostra, apenas 0,01 grama, enquanto que o método gravimétrico necessita de 1,00 grama;
- Apresenta eficiência, já que a capacidade analítica do método gravimétrico está diretamente ligada à capacidade da estufa;
- Utiliza pouca quantidade (1,3 mL) de um solvente não tão tóxico e de fácil descarte, como o etanol e;
- Requer equipamentos simples, baratos e de fácil acesso, se comparados a estufa ventilada a 105°C, como liquidificador, mesa agitadora com movimentos orbitais e *smartphone*.

Portanto, mais estudos devem ser conduzidos utilizando a leitura por imagens digitais uma vez que é um método prático, que concorda com os princípios da Química Analítica Verde, é efetivo e apresenta baixo custo. Essas características tornam a exploração de imagens digitais um campo promissor para o monitoramento dos parâmetros de qualidade do tomate e outros alimentos, além da quantificação do teor de umidade.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, M. A. R (Org.). **Tomate: produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia**. 2. ed. Lavras: Universitária de Lavras, 2013.
- ANASTAS, P. T.; EGHBALI, N. **Green chemistry: principles and practice**. Chemical Society Reviews, v. 39, p. 301-312. 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8870: Açúcar Cristal e refinado, perda por secagem**. Rio de Janeiro, 1985.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 16th ed. Arlington: A.O.A.C., chapter 44, p. 2, 20-21, 1995.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. Arlington: A.O.A.C., chapter 33, p. 5, 1996.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **International Official Methods of Analysis**. 18th ed. Gaithersburg: A.O.A.C., 2005.
- BOGDANOV, S.; MARTIN, P.; LULLMAN, C. **Harmonised Methods of the European Honey Commission**. Apidologie, Paris: Issue Spec, p. 11-13, 1997.
- BORGUINI, R. G. **Tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) orgânico: o conteúdo nutricional e a opinião do consumidor**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 110 f., 2002.
- CASE STUDIES. **Sakata Seed: modelo de inovação na gestão da cadeia de produção e distribuição de hortaliças**. Fev/2018. Disponível em: <<https://casestudies.com.br/sakata-seed-modelo-de-inovacao-na-gestao-da-cadeia-de-producao-e-distribuicao-de-hortalicas/>>. Acesso em: 24 Dez. 2019.
- CAVALINI, F. C. **Fisiologia do amadurecimento, senescência e comportamento de goiabas "Kumagai" e "Pedro Sato"**. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 91 f., 2008.
- CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Química verde no Brasil: 2010-2030**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.
- CNA – Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária do Brasil. **Produção de tomates fatura R\$ 14 bilhões em 2017**. Central de Comunicação, G1, 2018. Disponível em: <<http://www.cnabrazil.org.br/noticias/producao-de-tomates-fatura-r-14-bilhoes-em-2017>>. Acesso em: 01 Ago. 2018.
- COMMITTEE ON FOOD CHEMICALS CODEX. **Food Chemicals Codex**. 4th ed. Washington D.C.: National Academic Press, p. 742-754, 1996.

CORRÊA, J. H. G.; VEJA, G. U. S.; CUNHA, N. S.; SILVA, T. G.; MACIEL JR, P.D. **Um modelo simples e parametrizável para classificação de cores no sistema RGB.** In: IX Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica. São Luís, 10 p., 2014.

CRUZ-FERNÁNDEZ, M.; LUQUE-COBIJA, M. J.; CERVERA, M. L.; MORALES-RUBIO, A.; GUARDIA, M. de la. **Smartphone determination of fat in cured meat products.** Microchemical Journal, v. 132, p. 8-14, 2017.

ELBADRAWY, E.; SELLO, A. **Review: Evalution of nutritional value and antioxidante activity of tomato peel extracts.** Arabian Journal of Chemistry, v. 9, p. S1010-S1018, 2016.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **A cultura do tomate: Como produzir tomate de mesa.** Embrapa Hortaliças, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/hortalicas/tomate-de-mesa>>. Acesso em: 01 Ago. 2018.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Stations. **Countries by commodity.** FAOSTAT, 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity>. Acesso em: 01 Ago. 2018.

FÊNIX AGRONEGÓCIOS. **Tomate.** Disponível em: <http://fenixagronegocio.com.br/?page_id=1581>. Acesso em: 13 Ago. 2018.

FRANCO, M. de O. K.; SUAREZ, W. T.; SANTOS, V. B. dos; RESQUE, I. S. **A novel digital image method for determination of reducing sugars in aged and non-aged cachaças employing a smartphone.** Food Chemistry, v. 338, p. 1-7, 2021.

GALUSZKA, A.; MIGASZEWSKI, Z. M.; KONIECZKA, P.; NAMIESNIK, J. **Analytical Eco-Scale for assessing the greenness of analytical procedures.** Trends in Analytical Chemistry, v. 37, p. 61-72, 2012.

GALUSZKA, A.; MIGASZEWSKI, Z. M.; NAMIESNIK, J. **The 12 principles of green analytical chemistry and the significance mnemonic of green analytical practices.** Trends Anal. Chem., v. 50, p. 78-84, 2013.

GARCIA-AMOEDO, L. H.; ALMEIDA-MURADIAN, L. B. de. **Comparação de metodologias para a determinação de umidade em geléia real.** Quim. Nova, v. 25, n. 4, p. 676-679, 2002.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E.; CESAR JÚNIOR, R. M.; COSTA, L. F. **Processamento de imagens digitais.** São Paulo: E. Blucher, 2000.

IBGE a – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Em janeiro, IBGE prevê safra 6,0% inferior à de 2017.** Notícias, Estatísticas Econômicas, 2018. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2013-agencia-de-noticias/releases/19942-em-janeiro-ibge-preve-safra-6-0-inferior-a-de-2017.html>>. Acesso em: 01 Ago. 2018.

IBGE b – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Tabela 6588 – Série histórica da estimativa anual da área plantada, área colhida, produção e rendimento médio dos produtos das lavouras. SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6588>>. Acesso em: 01 Ago. 2018.

ICUMSA. **Method GS2/1/3-15: Determination of sugar moisture by loss on drying official**. 1994.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, São Paulo: IMESP, v. 1, 3. ed., p. 21-25, 125, 160, 1985.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Secretaria de Estado da Saúde, Coordenadoria de Controle de Doenças, Instituto Adolfo Lutz (SES – CCD – IAL). São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

ISENGARD, H. D. **Rapid water determination in foodstuffs**. Trends in Food Science & Technology, v. 6, p. 155-162, 1995.

IVANKOVIĆ, A.; DRONJIĆ, A.; BEVANDA, A. M.; TALIC, S. **Review of 12 Principles of Green Chemistry in Practice**. International Journal of Sustainable and Green Energy, v. 6, n. 3, p. 39-48, 2017.

JUKIĆ, M.; DJAKOVIĆ, S.; FILIPOVIĆ-KOVAČEVIĆ, Ž.; KOVAČ, V.; VORKAPIĆ-FURAČ, J. **Dominant trends of green chemistry**. Kemija u Industriji, v. 54, n. 5, p. 255-272, 2005.

KOWALEWSKA, A. **Info Sheet: Nutrition Information about Tomatoes**. Feed Future, University of Florida, May/2018. Disponível em: <https://ingenaes.illinois.edu/wp-content/uploads/ING-Info-Sheet-2018_05-Tomato-nutritional-value-Kowalewska.pdf>. Acesso em: 28/01/2020.

LORO, A. C. **Caracterização química e funcional de tomates “Sweet Grape” e Italiano submetidos à desidratação osmótica e adiabática**. Dissertação (Mestrado – Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 89 f., 2015.

LUCIDARME, M. **Mapa de uso dos cultivares de tomate no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Genética, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 65 p., 2018.

MARCO, B. A. de; RECHELO, B. S.; TÓTOLI, E. G.; KOGAWA, A. C.; SALGADO, H. R.N. **Evolution of green chemistry and its multidimensional impacts: A review**. Saudi Pharmaceutical Journal, v. 27, p. 1-8, 2019.

MENDHAM, J.; DENNEY, R. C.; BARNES, J. D.; THOMAS, H. J. K. VOGEL. **Análise Química Quantitativa**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, p. 254-255, 2002.

MONTEIRO, C. S.; BALBI, M. E.; MIGUEL, O. G.; PENTEADO, P. T. P. da S.; HARACEMIV, S. M. C. **Qualidade nutricional e antioxidante do tomate “tipo italiano”**. Alimentos e Nutrição, v. 19, n. 1, p. 25-31, 2008.

MURITO, M. M. C.; FINETE, V. de L. M. Capítulo 5: Fundamentos em química experimental. In: MOLINARO, E. M.; CAPUTO, L. F. G.; AMENDOEIRA, M. R. R. **Conceitos e Métodos para a Formação de Profissionais em Laboratórios de Saúde**. Rio de Janeiro: EPSJV, p. 223 - 286, 2009.

NEGRISOLI, R. M.; CECHINATTO, F. H.; BISSOLI, M. J.; ROSESTOLATO, L. L. R.; SABBAG, O. J. **Viabilidade econômica no cultivo de minitomate *Sweet Grape* no município de Casa Branca/SP**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 11, n. 21, p. 1932 - 1942, 2015.

NEPA – Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação / UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO)**. 4. ed. rev. e ampl., Campinas: NEPAUNICAMP, 161 p., 2011.

OLIVEIRA, B. F. de. **Química Analítica Verde: contribuições para a Agenda Ambiental PUC-Rio**. Dissertação (Mestrado em Metrologia para a Qualidade e Inovação) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 110 f., 2012.

PASSOS, E. de A. **Métodos instrumentais de análise**. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, CESAD, 2011. Disponível em: <https://www.cesadufs.com.br/ORBI/public/uploadCatalogo/18024916022012Metodos_Instrumentais_de_Analise_-_Aula_01.pdf>. Acesso em: 19 Set. 2020.

PEREIRA, A.C.; REIS, B. F.; ROCHA, F. R. P. **An air carrier flow system for the spectrophotometric determination of water in biodiesel exploiting bleaching of the cobalt chloride complex**. Talanta, v. 131, p. 21-25, 2015.

PITA, J. S. L. **Caracterização físico-química e nutricional da polpa e farinha da casca de maracujazeiros do mato e amarelo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 77 f., 2012.

REZAZADEH, M.; SEIDE, S.; LID, M.; PEDERSEN-BJERGAARD, S.; YAMINI, Y. **The modern role of smartphones in analytical chemistry**. Trends in Analytical Chemistry, v. 118, p. 548-555, 2019.

RODRIGUES, G. R. E. **Smartphones e suas tecnologias**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 77 p., 2009.

RODRIGUES, P. **Híbrido de tomate grape é recordista em teor de licopeno**. Notícias EMBRAPA, jul/2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/35286378/hibrido-de-tomate-grape-e-recordista-em-teor-de-licopeno>>. Acesso em: 21 Set. 2020.

SABIO, R. P.; VENTURA, M. B.; CAMPOLI, S. S. **Mini e “baby” frutas e hortaliças.** Revista Hortifruti Brasil, Piracicaba, n. 120, p. 8-20, 2013.

SADER, A. P de O. **Estudo espectrofotométrico do sistema cobalto(II)/tiocianato e seu aproveitamento analítico.** Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 112 f., 2002.

SANTOS, V. B. dos.; SILVA, E. K. N. da.; OLIVEIRA, L. M. A. de.; SUAREZ, W. T. **Low cost in situ digital image method, based on spot testing and smartphone images, for determination of ascorbic acid in Brazilian Amazon native and exotic fruits.** Food Chemistry, v. 285, p. 340-346, 2019.

SARMENTO, D. H. A.; SOUZA, P. A.; SARMENTO, J. D. A.; FREITAS, R. V. S.; FILHO, M. S. **Armazenamento de banana ‘Prata Catarina’ sob temperatura ambiente recobertas com fécula de mandioca e PVC.** Revista Caatinga, Mossoró, v. 28, n. 2, p. 235-241, 2015.

SILVA, A. F. S.; ROCHA, F. R. P. **A novel approach to detect milk adulteration based on the determination of protein content by smartphone-based digital image colorimetry.** Food Control, v. 115, p. 1-6, 2020.

SOUSA-AGUIAR, E. F.; ALMEIDA, J. M. A. R. de; ROMANO, P. N.; FERNANDES, R. P.; CARVALHO, Y. **Química verde: A evolução de um conceito.** Química Nova, v. 37, n. 7, p. 1257-1261, 2014.

SOUZA, G. B. de; NOGUEIRA, A. R. de A.; RASSINI, J. B. **Determinação de matéria seca e umidade em solos e plantas com forno de micro-ondas doméstico.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Circular Técnica, São Carlos, 2002. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/33322/1/CircularTecnica33.pdf>>. Acesso em: 15 Set. 2020.

SOUZA, A. do C.; MACHADO, B. de F.; BORGES, M. T. M. R.; VERRUMA-BERNARDI, M. R. **Análise físico-química e sensorial de tomate cereja produzidos sob diferentes cultivos.** Anais do VI CLAA, X CBA e V SEMDF, v. 13, n. 1, 2018.

TAKAHASHI, K. **Produção e qualidade de mini tomate em sistema orgânico, dois tipos de condução de hastes e poda apical.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 42 f., 2014.

VALIM, D. B. **Pré-tratamento abrasivo de tomate *sweet grape* visando a redução do tempo de secagem.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 84 f., 2017.

VIEIRA, D. A. de P.; CARDOSO, K. C. R.; DOURADO, K. K. F.; CALIARI, M.; JÚNIOR, M. S. S. **Qualidade física e química de mini-tomates *Sweet Grape* produzidos em cultivo orgânico e convencional**. Revista Verde, v. 9, n. 3, p. 100 - 108, 2014.

VIEIRA, M. C. de S. **Investigação dos compostos bioativos em tomates (*Lycopersicon esculentum* L.) após processamento térmico**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 49 f., 2016.

WIKIHOW. **Como podar tomates**. Disponível em: <<https://pt.wikihow.com/Podar-Tomates>>. Acesso em: 13 Ago. 2018.